DORU CIUCESCU

ŞTIINŢA ŞI INGINERIA MATERIALELOR

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
BUCUREŞTI
2006

Copyright © 2006 Toate drepturile acestei ediţii sunt rezervate
Editurii Didactice şi Pedagogice, Bucureşti

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale
Ştiinţa şi ingineria materialelor /
Doru Ciucescu
Editura Didactică şi Pedagogică Bucureşti 2006
335 p.; 24 cm
Bibliografie
ISBN
ISBN

Referenţi ştiinţifici: prof.univ. dr. ing. Constantin Dumitrescu

prof.univ. dr. ing. Alexandru Traian Dumitrescu

CUVÂNT ÎNAINTE

Încă de acum trei milioane de ani, din paleolitic (gr. palaios, vechi, şi lithikos, de piatră), de când omenirea a început să folosească unelte din piatră cioplită, materialele nemetalice s-au diversificat şi dezvoltat continuu, astfel încât astăzi asistăm la o adevărată explozie a descoperirilor de noi materiale nemetalice, care să satisfacă exigenţele tot mai ridicate ale diferitelor industrii.

Pe de altă parte, în prezent, oţelul este principalul material utilizat, deci omenirea trăieşte încă în epoca fierului, care a început în 1400 ...1200 î.e.n., care a apărut după epoca bronzului, despre care sunt dovezi din 3800 î.e.n.

Se poate afirma că de aproximativ şase milenii omul se ocupă cu producerea şi utilizarea concomitentă atât a materialelor metalice cât şi nemetalice.

Cererea tot mai mare de materiale cu proprietăţi speciale a dus la impulsionarea cercetărilor în domeniu. Astfel, în ultimele decenii s-a reuşit să se stabilească influenţa unor elemente de microaliere neelucidate sau necunoscute anterior datorită tehnicilor rudimentare de analiză şi să pună la punct mărci de materiale metalice cu proprietăţi aparent paradoxale.

Materialele nemetalice cuprind materialele oxidice (materialele ceramice, sticlele, materialele abrazive, lianţii, materialele refractare) şi materialele polimerice (masele plastice, adezivii, cauciucurile). O categorie specială de materiale o formează materialele compozite, care pot conţine fie numai materiale nemetalice, fie numai materiale metalice sau atât materiale nemetalice cât şi materiale metalice. În această ultimă categorie este inclus şi lemnul, ca material compozit cu fibre.

În contextul mondializării economiei, tot mai multe materiale metalice indigene vor fi înlocuite cu materiale din import şi invers. Pentru uşurarea alegerii şi utilizării materialelor metalice, în România s-a trecut treptat la înlocuirea vechilor STAS-uri (STAndard de Stat) cu noile SR EN-uri (Standard Român conform cu European Norm) sau cu noile standarde ISO (International Standard Organisation).

O problemă de importanţă deosebită este alegerea optimă a materialelor, conform principiului obţinerii maximului de performanţe tehnice cu minimum de cheltuieli. Din acest motiv este necesară o bună cunoaştere a proprietăţilor, structurii, compoziţiei chimice şi relaţiilor dintre acestea.

În acest sens, lucrarea de faţă îşi propune realizarea unei prezentări progresive şi sistematizate împărţită pe două părţi a următoarelor probleme:

-partea I:

-structura cristalină a materialelor metalice;
-comportamentul materialelor metalice la solicitări mecanice;
-difuzia în materialele metalice;
-diagrame de echilibru temodinamic al fazelor aliajelor binare;
-definirea, clasificarea şi simbolizarea aliajelor fierului, aluminiului şi cuprului;
-tratamentele termice ale aliajelor fierului, aluminiului şi cuprului;

-partea a II-a:

-lemnul;

-masele plastice;

-cauciucul;

-materialele oxidice (ceramice).

De asemenea, lucrarea mai cuprinde un ultim capitol consacrat materialelor compozite.

Prin modul şi nivelul de prezentare al conţinutului, lucrarea se adresează în primul rând studenţilor, dar poate interesa inginerii şi tehnicienii din producţie, cercetare şi proiectare.

Conştient fiind de întinderea mare a subiectului tratat şi de lipsurile inerente unui mod de abordare subordonat strict scopurilor propuse, autorul consideră orice sugestie şi recomandare ca un gest de bunăvoinţă.

Autorul

CUPRINS

PARTEA I. MATERIALE METALICE.....14

CAPITOLUL I. STRUCTURA CRISTALINĂ A MATERIALELOR METALICE…….14

I.1. Introducere…….....…...14
I.2. Legătura metalică…….14
I.2.1.Structura atomului……..14
I.2.2.Tipuri de legături……....15
I.3. Structura policristalină a metalelor……16
I.3.1. Elemente de cristalografie…….16
I.3.2. Structuri cristaline principale ale metalelor pure……..25
I.3.3. Structuri cristaline ale aliajelor…….....….28
I.3.4. Defecte cristaline……...30

CAPITOLUL II. COMPORTAMENTUL MATERIALELOR METALICE LA SOLICITĂRI MECANICE……..….33

II.1. Introducere……..33
II.2. Limita de elasticitate la forfecare în cazul ruperii simultane a legăturilor metalice dintre toți ionii……34
II.3. Mecanismul deformării plastice prin alunecare……..35
II.4. Sisteme de alunecare……...37
II.5. Mecanismul deformării plastice prin maclare…….....……38
II.6. Mecanismele durificării……..39

CAPITOLUL III. DIFUZIA ÎN MATERIALELE METALICE……...43

III.1. Introducere……43
III.2. Difuzia în metale……...43
III.2.1. Mecanismele difuziei în metale…….43
III.2.2. Legile autodifuziei……44
III.3. Difuzia în aliaje……45
III.3.1. Mecanismele difuziei în aliaje……...45
III.3.2. Legile difuziei în aliaje……..46
III.4. Aplicații ale legilor difuziei……..47
III.4.1. Aplicații ale legilor difuziei în regim staționar……..47
III.4.2. Aplicații ale legilor difuziei în regim nestaționar……..49

CAPITOLUL IV. DIAGRAME DE ECHILIBRU TERMODINAMIC AL FAZELOR SISTEMELOR DE ALIAJE……...52

IV.1. Introducere……52
IV.2. Curbe de solidificare……52
IV.3. Legea fazelor……54
IV.4. Elementele grafice ale diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare……...55
IV.5. Regula orizontalei şi regula segmentelor inverse……56
IV.6. Fenomene de segregare……57
IV.7. Transformări trifazice……59
IV.7.1. Definirea şi clasificarea transformărilor trifazice……...59
IV.7.2. Transformările eutectice şi eutectoide……...60
IV.7.3. Transformările peritectice şi peritectoide……61
IV.7.4. Transformările monotectice şi monotectoide……62
IV.7.5. Transformările sinctectice şi sintectoide……63
IV.8. Clasificarea diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare……...64
IV.9. Simbolizarea tipurilor diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare……65
IV.10. Exemple de diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare……67
IV.10.1. Convenţii de reprezentare a diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare……67
IV.10.2. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă……69
IV.10.3. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă cu transformare alotropică……71
IV.10.4. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică şi monotectică……..73
IV.10.5. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică……..75

IV.10.6. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectică şi monotectică…….77
IV.10.7. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică……....79
IV.10.8. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică…….……...81
IV.10.9. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parţială în stare solidă, cu transformare eutectică…….……...82
IV.10.10. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parţială în stare solidă, cu transformare peritectică…….84
IV.10.11. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice……..86
IV.10.12. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parţială în stare solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice……..88
IV.10.13. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă……...90
IV.10.14. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare dezordine-ordine……..….92

IV.10.15. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare spinoidală……93
IV.10.16. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă……95
IV.10.17. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare peritectoidă……96
IV.10.18. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă şi monotectoidă……98
IV.10.19. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectoide şi transformare sintectoidă……100
IV.10.20. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare alotropică……102

CAPITOLUL V. FIERUL ŞI ALIAJELE SALE……105

V.1. Proprietăţile fierului……105
V.2. Diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor din sitemul Fe-C……106
V.3. Definirea şi clasificarea oţelurilor…… …108
V.4. Definirea şi clasificarea fontelor……121
V.5. Structura oţelurilor recoapte……126
V.5.1. Structura oţelurilor nealiate recoapte……126
V.5.2. Structura oţelurilor aliate recoapte……127
V.6. Structura fontelor……129
V.6.1. Structura fontelor nealiate……129
V.6.1.1. Structura fontelor nealiate albe……129
V.6.1.2. Structura fontelor nealiate cenuşii……130

V.6.2. Structura fontelor aliate……133
V.7. Tratamentele termice ale oţelurilor……...133
V.7.1. Transformări izoterme principale în stare solidă la oţeluri……...133
V.7.2. Transformările austenitei la răcirea izotermă……...134
V.7.3. Transformările austenitei la răcirea anizotermă…….....137
V.7.4. Călibilitatea…….....…..138
V.7.5. Transformarea martensitei şi austenitei la încălzire (revenirea)..……....144
V.7.6. Clasificarea tratamentelor termice……....145
V.7.7. Fenomene care pot avea loc în timpul tratamentelor termice……....147
V.7.8. Factorii care influenţează tratamentele termice……....147
V.7.9. Durificarea prin călire a oţelurilor……148
V.7.10. Revenirea oţelurilor……151
V.7.11. Durificarea prin precipitare……152
V.7.12. Recoacerea……..…..152
V.7.13. Tratamente termochimice……154
V.7.14. Tratamente termomecanice……..…155
V.8. Tratamentele termice ale fontelor……..……156

CAPITOLUL VI. ALUMINIUL ŞI ALIAJELE SALE……...158

VI.1. Proprietăţile aluminiului……..……158
VI.2. Definirea, clasificarea şi simbolizarea aluminiului şi aliajelor sale……..…158
VI.2.1. Definirea şi clasificarea aluminiului şi aliajelor sale.....158
VI.2.2. Simbolizarea aluminiului şi aliajelor deformabile pe bază de aluminiu……..160
VI.2.3. Simbolizarea stărilor aluminiului şi aliajelor deformabile pe bază de aluminiu…….….162
VI.2.4. Simbolizarea aluminiului şi aliajelor turnate pe bază de aluminiu……..167
VI.2.5. Simbolizarea stărilor aluminiului şi aliajelor turnate pe bază de aluminiu……..169
VI.2.6. Exemple de mărci de aluminiu şi de aliaje pe bază de aluminiu conform SR EN 573-1:1995…….170
VI.2.7. Exemple de mărci de aluminiu şi de aliaje pe bază de aluminiu conform unor STAS-uri……..……..….171
VI.3. Tratamentele termice ale aluminiului şi aliajelor sale……..……172

CAPITOLUL VII. CUPRUL ŞI ALIAJELE SALE……..…174

VII.1. Proprietăţile cuprului…….174
VII.2. Definirea şi clasificarea cuprului şi aliajelor sale……..174
VII.2.1. Definirea şi clasificarea cuprului şi aliajelor sale……...174
VII.2.2. Simbolizarea cuprului şi aliajelor sale……175
VII.2.3. Simbolizarea stărilor cuprului şi aliajelor sale……....178
VII.2.4. Exemple de mărci de cupru şi de aliaje pe bază de cupru conform SR ISO 1190 / 1: 1993……...179
VII.2.5. Exemple de mărci de cupru şi de aliaje pe bază de cupru conform unor STAS-uri……..……...180
VII.3. Tratamentele termice ale cuprului şi aliajelor sale…….....……...181

PARTEA II. MATERIALE NEMETALICE.....182

CAPITOLUL VIII. LEMNUL…….....……...182

VIII.1. Introducere…….....……...…….182
VIII.2. Compoziţia chimică a lemnului…..... …….....187
VIII.3. Structura lemnului…..…….190
VIII.3.1. Secţiuni principale în lemn.....……190
VIII.3.2. Structura membranei celulare…..……192
VIII.3.3. Elementele anatomice individuale ale lemnului.....196
VIII.3.4. Elemente de structură macroscopică ale lemnului…....206
VIII.3.5. Caracteristicele speciale ale lemnului……..….....213
VIII.3.6. Defectele lemnului.…..…….214

CAPITOLUL IX. MASELE PLASTICE…….....……..222

IX.1. Introducere……..……222
IX.2. Reacţiile de polimerizare……..…….....…..226
IX.3. Structura polimerilor……...……...…….232
IX.3.1. Tipuri de macromolecule…....……...232
IX.3.2. Principalele caracteristici ale macromoleculelor liniare…….....239
IX.3.3. Principalele caracteristici ale macromoleculelor tridimensionale…….....256
IX.3.4. Tranziţia de fază a polimerilor……258
IX.4. Materiale de adaos.....……264
IX.5. Îmbătrânirea…....……..270
IX.6. Degradarea termică…..……...272
IX.7. Exemple de mase plastice…..……274
IX.7.1. Poliolefinele…….....……...274
IX.7.2. Policlorura de vinil şi derivaţii / copolimerii săi..…….....276
IX.7.3. Polistirenul şi copolimerii să……..…...……..…279

IX.7.4. Poliacrilicii şi copolimerii să…..……281
IX.7.5. Polimerii fluoraţi…..…..……...282
IX.7.6. Polioximetilenele…..……..…….....284
IX.7.7. Poliamidele……..…….…….....…285
IX.7.8. Poliesterii saturaţi…..……..286
IX.7.9. Policarbonaţii…….....…….....….287
IX.7.10. Polimerii sulfonici…….....……...288
IX.7.12. Polisulfura de fenilen…....……...290
IX.7.12. Polifenilen oxidul…….....……290
IX.7.13. Derivaţii celulozici…….....……..291
IX.7.14. Răşinile poliepoxidice…….....…….293
IX.7.15. Poliimidele…....……...295
IX.7.16. Siliconii……..…...……295
IX.7.17. Aminoplastele…….....…….……..296
IX.7.18. Poliesterii nesaturaţi…….....……297
IX.7.19. Fenoplastele…….....…….…299
IX.7.20. Poliuretanii…….....……..301

CAPITOLUL X. CAUCIUCUL……..……..…….304

X.1. Introducere…….……..304
X.2. Realizarea punţilor între macromoleculele liniare…..……..306
X.3. Cauciucuri sintetice…..……..……308

CAPITOLUL XI. MATERIALELE OXIDICE (CERAMICE)…….……..310

XI.1. Introducere…….....310
XI.2. Structura silicaţilor naturali…….310
XI.3. Principalele clase de silicaţi naturali……...312
XI.4. Materialele ceramice……...314
XI.5. Sticlele…….316
XI.6. Materialele abrazive……320
XI.7. Lianţii……..321
XI.8. Materialele refractare……..324

CAPITOLUL XII. MATERIALELE COMPOZITE…….……..……..326

XII.1. Introducere……..……...326
XII.2. Materialele compozite cu particule……..……..327
XII.3. Materialele compozite cu fibre…….……..…330
XII.4. Materialele compozite laminare……....……....336

ANEXĂ. PROPRIETĂŢILE MECANICE ALE
MATERIALELOR METALICE.....338
A.1. Proprietăţile mecanice ale oţelurilor.....338

A.1.1.Oţeluri carbon de uz general (STAS 500 / 2-80).....338
A.1.2. Oţeluri cu granulaţie fină
(STAS 9021-88; 11082-80; 11505-89; 715 / 2-80).....338
A.1.3. Oţeluri de uz general pentru construcţii rezistente
la coroziunea atmosferică (STAS 500 / 3-80).....339
A.1.4. Oţeluri pentru armarea betonului (STAS 438 / 1-89).....339
A.1.5. Oţeluri pentru precomprimarea betonului (STAS 6482 / 2-80).....339
A.1.6. Oţeluri pentru construcţii navale (STAS 8324-86).....339
A.1.7. Oţeluri pentru ţevi fără sudură de uz general (STAS 8183-80).....340
A.1.8. Oţeluri pentru ţevi fără sudură destinate industriei petroliere
(STAS 8185-88).....340
A.1.9. Oţeluri pentru ţevi utilizate la temperaturi ridicate
(STAS 8184-87; 11523-87).....340
A.1.10. Oţeluri pentru ţevi utilizate la temperaturi scăzute
(STAS 10382-88).....341
A.1.11. Oţeluri pentru cazane şi recipienţi sub presiune pentru
temperaturi ambiante şi ridicate (STAS 2883 / 3-88).....341
A.1.12. Oţeluri pentru cazane şi recipienţi sub presiune pentru
temperaturi ridicate şi scăzute (STAS 2883 / 2-88).....341
A.1.13. Oţeluri pentru table groase pentru recipienţi sub presiune
pentru temperaturi ridicate şi scăzute (STAS 11502-89).....341
A.1.14. Oţeluri pentru table şi benzi ambutisate
(STAS 9485-80; 11501-80).....342
A.1.15. Oţeluri pentru table şi benzi caroserii auto (STAS 10318-80).....342
A.1.16. Oţeluri pentru table mijlocii şi groase decapate (STAS 11509-80).....342
A.1.17. Oţeluri pentru table subţiri şi benzi late (STAS 9724-80).....342
A.1.18. Oţeluri îmbunătăţite cu limită de curgere ridicată (STAS 523-85).....342
A.1.19. Oţeluri pentru şine de cale ferată (STAS 1900-89).....343
A.1.20. Oţeluri pentru osii (STAS 1947-90).....343
A.1.21. Oţeluri carbon de calitate (STAS 880-88).....343
A.1.22. Oţeluri pentru table groase pentru viaducte şi poduri de şosea
(STAS 12187-88).....344
A.1.23. Oţeluri pentru prelucrarea pe maşini-unelte automate
(STAS 1350-88).....344
A.1.24. Oţeluri pentru roţi dinţate (STAS 11512-91).....344
A.1.25. Oţeluri pentru rulmenţi (STAS 11250-89).....344
A.1.26. Oţeluri aliate pentru tratamente termice
(STAS 791-88; 11513-88; 7450-89; 11506-80).....345
A.1.27. Oţeluri pentru autoturisme (STAS 11500 / 2-89).....346
A.1.28. Oţeluri pentru sape de foraj şi transmisii hidromecanice
(STAS 11504-80).....346
A.1.29. Oţeluri pentru arcuri
(STAS 795-87; 11514-80; 3583-87; 8371-86).....347
A.1.30. Oţeluri pentru organe de asamblare la temperaturi înalte sau joase
(STAS 7450-89; 9382-82; 880-88; 11290-88; 11523-87, 10382-88)… 347
A.1.31. Oţeluri termorezistente pentru organe de asamblare
(STAS 11522-80).....348

A.1.32. Oţeluri inoxidabile (STAS 3583-87).....348
A.1.33. Oţeluri pentru supape de motoare (STAS 11311-88; 11524-80).....349
A.1.34. Oţeluri refractare (STAS 11523-87).....349
A.1.35. Oţeluri carbon turnate în piese (STAS 600-82).....349
A.1.36. Oţeluri aliate turnate în piese (STAS 1773-82).....350
A.1.37. Oţeluri aliate turnate pentru armături (STAS 9277-84).....351
A.1.38. Oţeluri aliate turnate rezistente la temperaturi ridicate (STAS 12404-85).....351
A.1.39. Oţeluri aliate turnate refractare şi anticorozive (STAS 6855-86).....352
A.1.40. Oţeluri aliate turnate rezistente la temperaturi scăzute (STAS 12403-85).....353

A.2. Proprietăţile mecanice ale fontelor.....353
A.2.1. Fonte cenuşii cu grafit lamelar turnate în piese (STAS 568-82).....353
A.2.2. Fonte cenuşii turnate în piese pentru maşini-unelte (STAS 8541-86).....353
A.2.3. Fonte cu grafit vermicular turnate în piese (STAS 12443-86).....353
A.2.4. Fonte maleabile turnate în piese (STAS 569-82).....354
A.2.5. Fonte cu grafit nodular turnate în piese (STAS 6071-82).....354
A.2.6. Fonte refractare turnate în piese (STAS 12443-86).....354
A.2.7. Fonte austenitice turnate în piese (STAS 10066-75).....355
A.2.8. Fonte rezistente la uzură abrazivă turnate în piese (STAS 11246-79).....355

A.3. Proprietăţile mecanice ale aliajelor de aluminiu.....356
A.3.1. Aliaje de aluminiu turnate în piese (STAS 201 / 2-82).....356

A.4. Proprietăţile mecanice ale aliajelor de cupru.....359
A.4.1. Bronzuri (Cu-Sn) deformabile (STAS 93-80).....359
A.4.2. Bronzuri (Cu-Sn) turnate în piese (STAS 197 / 2-83).....359
A.4.3. Bronzuri cu aluminiu (Cu-Al) pentru deformare (STAS 203-80).....359
A.4.4. Bronzuri cu aluminiu (Cu-Al) turnate în piese (STAS 198 / 2-81).....359
A.4.5. Alame (Cu-Zn) pentru deformare (STAS 95-87).....360
A.4.6. Alame (Cu-Zn) turnate în piese (STAS 199 / 2-86).....360

BIBLIOGRAFIE……..361

PARTEA I
MATERIALE METALICE

CAPITOLUL I
STRUCTURA CRISTALINĂ A MATERIALELOR METALICE

I.1. Introducere

Metalele sunt elemente chimice cu luciu caracteristic, opace, maleabile, bune conducătoare de căldură şi electricitate. O proprietate remarcabilă a metalelor este creşterea cu temperatura a rezistivităţii electrice.

Aceste proprietăţi ale materialelor metalice sunt conferite de:

-legătura metalică;

-structura policristalină.

I.2. Legătura metalică

I.2.1. Structura atomului

Atomul este format dintr-un nucleu şi electroni.

Nucleul este format din:

-neutroni:

-masa: $m_n \approx m_p$

-sarcina electrică: nulă;

-protoni:

-masa: $m_p=1,67x10^{-27}$ kg;

-sarcina electrică: $e= +1,6x10^{-19}$C.

Electronii pot fi caracterizaţi astfel:

-masa: $m_e=0.91x10^{-30}$ kg;

-sarcina electrică: $e= -1,6x10^{-19}$C.

Atomul are sarcină electrică nulă deoarece numărul de electroni este egal cu numărul de protoni, număr denumit număr atomic Z.

Electronii se găsesc în jurul nucleului pe straturi de diferite energii, notate K, L, M, etc. Fiecare strat poate conţine un număr maxim de electroni: 2 pentru stratul K, 8 pentru stratul L, 18 pentru stratul M, etc.

Un model simplu, dar fizic incorect, este modelul sferic, în care nucleul se găseşte în centrul sferei, iar electronii au traiectorii conţinute în sfere de diferite raze. Raportul raza unei sfere / raza nucleului este de ordinul zecilor de mii, astfel că se poate spune că solidele, în ciuda aparenţelor, sunt materiale mai mult goale.

Dacă stratul exterior de electroni este saturat, atunci atomul respectiv este stabil. Atomii pot deveni stabili fie:

-cedând electroni, cum este cazul metalelor;

-acceptând electroni, caz întâlnit la nemetale.

I.2.2. Tipuri de legături

Legăturile pot fi:

-ionice;

-covalente;

-metalice.

Aceste legături determină proprietățile specifice diferitelor materiale, aşa cum se observă în tabelul 1.

Tabelul 1

Legături intermetalice	Proprietăți caracteristice	Exemple de materiale
Legătura ionică	Fragilitate, transparență, refractaritate înaltă, foarte slabă conductivitate electrică	NaCl; Al_2O_3
Legătura covalentă	Duritate înaltă, refractaritate înaltă, foarte slabă conductivitate electrică	Si; C sub formă de diamant
Legătura metalică	Maleabilitate bună, opacitate, bună conductivitate electrică	Cu; Al; Fe

Legătura ionică se realizază între atomi foarte electropozitivi şi foarte electronegativi prin cedare, repectiv, prin acceptare de electroni de valență.

Legătura covalentă are loc între elemente apropiate în tabelul periodic, prin punerea în comun a unor electroni de calență în vederea completării straturilor lor exterioare, aşa cum este reprezentat schematic în figura 1.

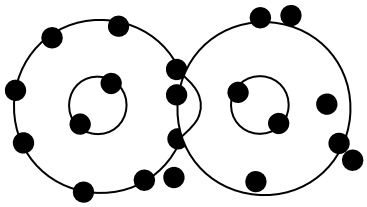


Fig. 1
Reprezentarea schematică a unei legături covalente

Din cauza numărului mic de electroni de valență, metalele nu-şi pot completa octetul de electroni, deci nu pot forma legături ionice sau covalente. Legătura metalică poate fi descrisă ca formată dintr-un "schelet"de ioni aflați într-un "nor" de electroni de valență. Ionii sunt atât de apropiați între ei, încât.electronii de valență nu mai aparțin numai unui atom sau a unei perechi de atomi, ci devin comuni tuturor atomilor.

Legătura metalică poate fi descrisă ca forța de atracție dintre ionii pozitivi şi "norul" de electroni de valență.

Deşi simplistă, această descriere a legăturii metalice permite explicarea principalelor proprietăți ale metalelor.

I.3. Structura policristalină a metalelor

I.3.1. Elemente de cristalografie

Un monocristal perfect este format dintr-un ansamblu de ioni aranjați într-un anumit mod în spațiu.

Structura cristalină este formată din:

-rețeaua cristalină;

-motivul cristalin.

Reprezentarea în plan a unei rețele cristaline este dată în figura 2.

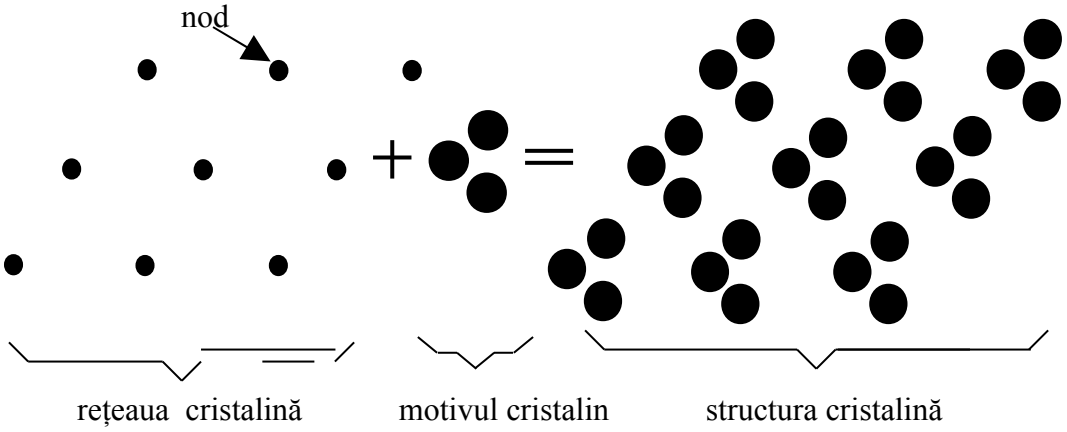


Fig.2
Reprezentarea în plan a unei rețele cristaline

Rețeaua cristalină este obținută prin repetarea unei celule elementare. Celula elementară este caracterizată de parametrii de rețea. Parametrii de rețea sunt vectorii pe axele Ox, Oy şi Oz (Fig.3).

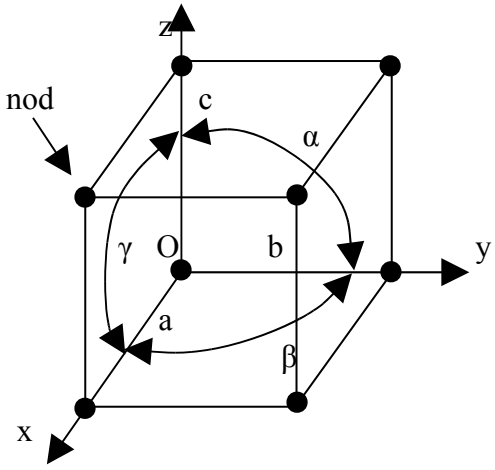


Fig.3
Parametrii celulei elementare

Poziția unui nod oarecare este dată de relația:

$$\vec{r} = a\vec{u} + b\vec{v} + c\vec{w} \quad (1)$$

în care:

-a, b şi c sunt numere întregi;

-$\vec{u}$, $\vec{v}$ şi $\vec{w}$ sunt vectori unitari.

Sunt 7 celule elementare, care definesc 7 sisteme cristaline (Tabelul 2).

Tabelul 2.

Sisteme cristaline	Parametrii rețelei	
	a , b , c	α, β, γ
Cubic	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$
Romboedric	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$
Hexagonal	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = 90; \gamma = 120^0$
Tetraedric	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$
Ortorombic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$
Monoclinic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \gamma = 90^0 \neq \beta$
Triclinic	a ≠ b ≠ c	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$

Fiecare nod este înconjurat de un motiv elementar, care este cel mai mic ansamblu de ioni, de coordonate:

-x_i ;

- y_i;

-z_i.

Astfel, dacă motivul este format din 3 ioni (i =3), atunci fiecare ion are coordonatele:

-ionul 1:

-x_1;

- y_1;

-z_1;

-ionul 2:

-x_2;

- y_2;

-z_2;

-ionul 3:

-x_3;

- y_3;

-z_3.

În cazul particular, când există un singur ion în motivul cristalin de coordonate:

-x_1=0;

- y_1=0;

-z_1=0,

atunci ionul respectiv se găseşte chiar în nodul rețelei cristaline.

Pentru a uşura descrierea direcţiilor cristaline într-o reţea cubică se folosesc indicii Miller, care se determină prin respectarea următoarei succesiuni de reguli:

a) într-un sistem de 3 axe coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparţin dreptei;

b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei;

c) în cazul în care diferenţele obţinute sunt numere fracţionare, se aduce la cel mai mic numitor şi se reţin numai numărătorii;

d) dacă se obţin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

e) se introduc numerele obţinute între paranteze pătrate.

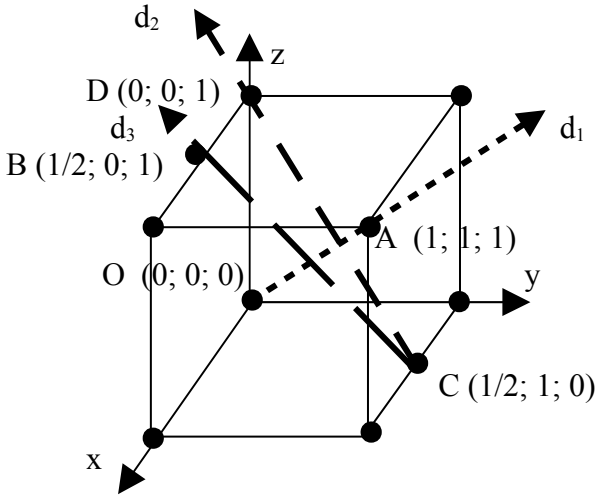


Fig.4
Exemple de direcţii într-o celulă elementară cubică simplă.

Pentru dreapta d_1 din fig.4, indicii Miller sunt determinaţi astfel:

a) într-un sistem de coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparţin dreptei:

A (1; 1; 1) şi O (0; 0; 0);

b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei:

1; 1; 1 - 0; 0; 0 = 1; 1; 1;

c) în cazul în care diferenţele obţinute sunt numere fracţionare, se aduce la cel mai mic numitor şi se reţin numai numărătorii:

nu este cazul;

d) dacă se obţin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective:

nu este cazul;

e) se introduc numerele obţinute între paranteze pătrate:

[1 1 1].

Pentru dreapta d_2 din fig.4, indicii Miller sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparțin dreptei:

D (0; 0; 1) şi C (1/2; 1; 0);

b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei:

0; 0; 1 – 1/2; 1; 0 = -1/2; -1; 1;

c) în cazul în care diferențele obținute sunt numere fracționare, se aduce la cel mai mic numitor şi se rețin numai numărătorii:

-1; -2, 2

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective:

$\bar{1}$; $\bar{2}$; 2;

e) se introduc numerele obținute între paranteze pătrate:

[$\bar{1}$ $\bar{2}$ 2].

Pentru dreapta d_3 din fig.4, indicii Miller sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparțin dreptei:

B (1/2; 0; 1) şi C (1/2; 1; 0);

b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei:

1/2; 0; 1 - 1/2; 1; 0 = 0; -1; 1;

c) în cazul în care diferențele obținute sunt numere fracționare, se aduce la cel mai mic numitor şi se rețin numai numărătorii:

nu este cazul;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective:

0; $\bar{1}$; 1;

e) se introduc numerele obținute între paranteze pătrate:

[0 $\underline{1}$ 1].

Pentru a uşura descrierea direcțiilor cristaline întro rețea hexagonală se folosesc indicii Miller-Bravais, care se determină prin respectarea următoarei succesiuni de reguli:

a) într-un sistem de 4 axe coordonate a_1, a_2, a_3 şi c orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparțin dreptei;

b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei;

c) în cazul în care diferențele obținute sunt numere fracționare, se aduce la cel mai mic numitor şi se rețin numai numărătorii;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

e) se introduc numerele obținute între paranteze pătrate.

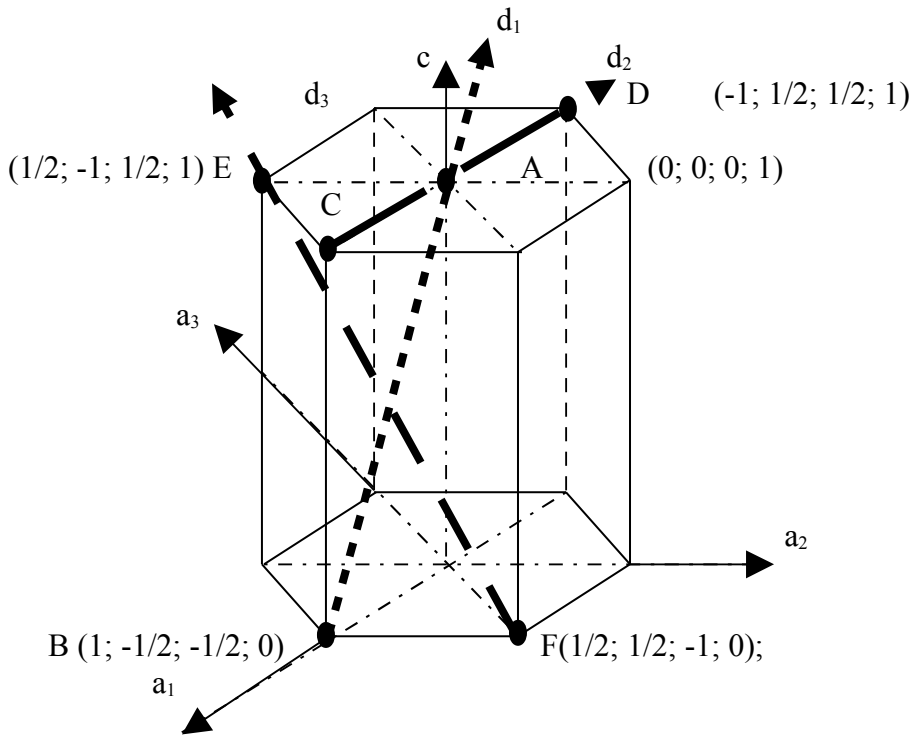


Fig. 5
Exemple de direcții într-o celulă elementară hexagonală simplă.

Pentru dreapta d_1 din fig.5, indicii Miller-Bravais sunt determinați astfel:
a) într-un sistem de 4 axe coordonate a_1, a_2, a_3 şi c orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparțin dreptei:
A (0; 0; 0; 1) şi B (1; -1/2; -1/2; 0);
b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei:
0; 0; 0; 1 - 1; -1/2; -1/2; 0 = -1; 1/2; 1/2; 1;
c) în cazul în care diferențele obținute sunt numere fracționare, se aduce la cel mai mic numitor şi se reține numai numărătorii:
-2, 1; 1; 2;
d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective:

$\bar{2}$; 1; 1; 2;
e) se introduc numerele obținute între paranteze pătrate:

[$\bar{2}$ 1 1 2].

Pentru dreapta d_2 din fig.5, indicii Miller-Bravais sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de 4 axe coordonate a_1, a_2, a_3 şi c orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparțin dreptei:

D (-1; 1/2; 1/2; 1) şi C (0; 0; 0; 1);

b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei:

-1; 1/2; 1/2; 1 - 0; 0; 0; 1 = -1; 1/2; 1/2; 0;

c) în cazul în care diferențele obținute sunt numere fracționare, se aduce la cel mai mic numitor şi se reține numai numărătorii:

-2; 1; 1; 0;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective:

$\bar{2}$; 1; 1; 0;

e) se introduc numerele obținute între paranteze pătrate:

[$\bar{2}$ 1 1 0].

Pentru dreapta d_3 din fig.5, indicii Miller-Bravais sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de 4 axe coordonate a_1, a_2, a_3 şi c orientat spre dreapta se determină coordonatele a două puncte care aparțin dreptei:

E (1/2; -1; 1/2; 1) şi F (1/2; 1/2; -1; 0);

b) din coordonatele punctului dinspre vârful dreptei se scad coordonatele punctului dinspre coada dreptei:

1/2; -1; 1/2; 1 – 1/2; 1/2; -1; 0 = 0; -3/2; 3/2; 1;

c) în cazul în care diferențele obținute sunt numere fracționare, se aduce la cel mai mic numitor şi se reține numai numărătorii:

0; -3; 3; 2;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective:

$\bar{\ }$

0; 3; 3; 2;

e) se introduc numerele obținute între paranteze pătrate:

[0 $\bar{3}$ 3 2].

Pentru a uşura descrierea planelor cristaline în celula cubică se folosesc indicii Miller, care se determină prin respectarea următoarei succesiuni de reguli:

a) într-un sistem de trei coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele punctelor care aparțin planului şi intersectează cele trei axe de coordonate şi se iau numai valorile diferite de zero (dacă planul trece prin origine se procedează la schimbarea originii sistemului de coordonate);

b) se inversează valorile luate în considerare;

c) în cazul în care se obțin numere fracționare, se înmulțeşte numărătorul cu numitorul şi se reține numai numărătorul astfel obținut, dar nu se aduce la cel mai mic numitor comun;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

e) se introduc numerele obținute între paranteze rotunde.

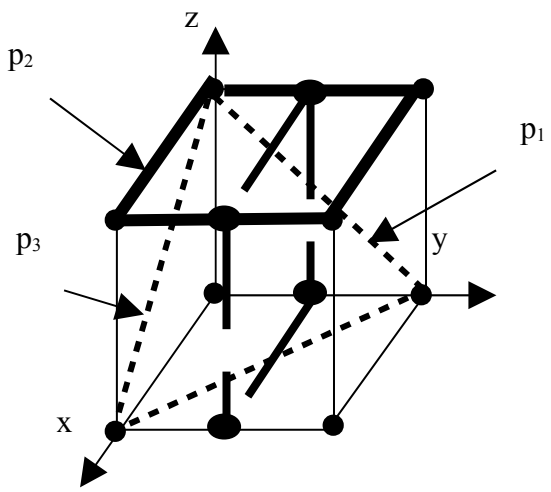


Fig.6
Exemple de plane într-o celulă elementară cubică simplă.

Pentru planul p_1 din fig.6, indicii Miller sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele punctelor care aparțin planului şi intersectează cele trei axe de coordonate şi se iau numai valorile diferite de zero (dacă planul trece prin origine se procedează la schimbarea originii sistemului de coordonate):

$x = 1; y = 1, z = 1;$

b) se inversează valorile luate în considerare:

$1/1 = 1; 1/1 = 1; 1/1 = 1;$

c) în cazul în care se obțin numere fracționare, se înmulțește numărătorul cu numitorul şi se reține numai numărătorul astfel obținut, dar nu se aduce la cel mai mic numitor comun:

nu este cazul;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

nu este cazul;

e) se introduc numerele obținute între paranteze rotunde.

(1;1;1).

Pentru planul p_2 din fig.6, indicii Miller sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele punctelor care aparțin planului şi intersectează cele trei axe de coordonate şi se iau numai valorile diferite de zero (dacă planul trece prin origine se procedează la schimbarea originii sistemului de coordonate):

$x = \infty; y = \infty, z = 1;$

b) se inversează valorile luate în considerare:

$1/\infty = 0; 1/\infty = 0; 1/1 = 1;$

c) în cazul în care se obțin numere fracționare, se înmulțește numărătorul cu numitorul şi se reține numai numărătorul astfel obținut, dar nu se aduce la cel mai mic numitor comun:

nu este cazul;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

nu este cazul;

e) se introduc numerele obținute între paranteze rotunde.

(0 0 1)

Pentru planul p_3 din fig.6, indicii Miller sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de coordonate orientat spre dreapta se determină coordonatele punctelor care aparţin planului şi intersectează cele trei axe de coordonate şi se iau numai valorile diferite de zero (dacă planul trece prin origine se procedează la schimbarea originii sistemului de coordonate):

$x = \infty$; $y = 1/2$, $z = \infty$;

b) se inversează valorile luate în considerare:

$1/\infty = 0$; $1/1/2 = 2$; $1/\infty = 0$;

c) în cazul în care se obțin numere fracționare, se înmulțeşte numărătorul cu numitorul şi se reține numai numărătorul astfel obținut, dar nu se aduce la cel mai mic numitor comun:

nu este cazul;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

nu este cazul;

e) se introduc numerele obținute între paranteze rotunde.

(0 2 0).

În celula hexagonală se folosesc indicii Miller-Bravais. Pentru planul p_1 din fig.7, indicii Miller-Bravais sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de 4 axe coordonate a_1, a_2, a_3 şi c orientat spre dreapta se determină coordonatele punctelor care aparţin planului şi intersectează cele patru axe de coordonate şi se iau numai valorile diferite de zero (dacă planul trece prin origine se procedează la schimbarea originii sistemului de coordonate):

$a_1 = \infty$; $a_2 = \infty$; $a_3 = \infty$, $c = 1$;

b) se inversează valorile luate în considerare:

$1/\infty = 0$; $1/\infty = 0$; $1/\infty = 0$; $1/1 = 1$;

c) în cazul în care se obțin numere fracționare, se înmulțeşte numărătorul cu numitorul şi se reține numai numărătorul astfel obținut, dar nu se aduce la cel mai mic numitor comun:

nu este cazul;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

nu este cazul;

e) se introduc numerele obținute între paranteze rotunde.

(0 0 0 1).

Pentru planul p_2 din fig.7, indicii Miller-Bravais sunt determinați astfel:

a) într-un sistem de 4 axe coordonate a_1, a_2, a_3 şi c orientat spre dreapta se determină coordonatele punctelor care aparţin planului şi intersectează cele patru axe de coordonate şi se iau numai valorile diferite de zero (dacă planul trece prin origine se procedează la schimbarea originii sistemului de coordonate):

$a_1 = 1$; $a_2 = 1$; $a_3 = -1/2$, $c = \infty$;

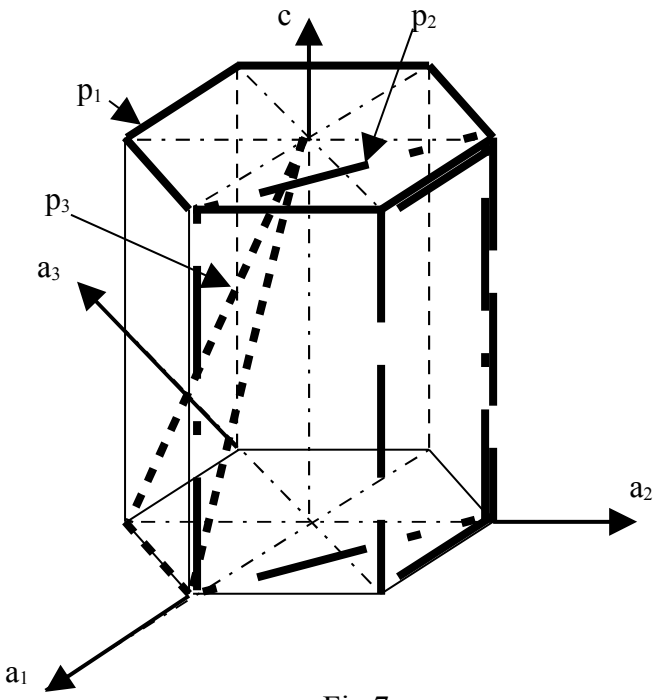


Fig.7
Exemple de plane într-o celulă elementară hexagonală simplă.

b) se inversează valorile luate în considerare:
1/1 = 1; 1/1 = 1; -1/1/2 = -2; 1/∞ = 0;
c) în cazul în care se obţin numere fracţionare, se înmulţeşte numărătorul cu numitorul şi se reţine numai numărătorul astfel obţinut, dar nu se aduce la cel mai mic numitor comun:
nu este cazul;
d) dacă se obţin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;
nu este cazul;
e) se introduc numerele obţinute între paranteze rotunde:

$(1\ 1\ \bar{2}\ 0)$.

Pentru planul p_3 din fig.7, indicii Miller-Bravais sunt determinaţi astfel:
a) într-un sistem de 4 axe coordonate a_1, a_2, a_3 şi c orientat spre dreapta se determină coordonatele punctelor care aparţin planului şi intersectează cele patru axe de coordonate şi se iau numai valorile diferite de zero (dacă planul trece prin origine se procedează la schimbarea originii sistemului de coordonate):
$a_1 = 1$; $a_2 = -1$; $a_3 = \infty$, $c = 1$;
b) se inversează valorile luate în considerare:
1/1 = 1; -1/1 = -1; 1/∞ = 0; 1/1 =1;
c) în cazul în care se obţin numere fracţionare, se înmulţeşte numărătorul cu numitorul şi se reţine numai numărătorul astfel obţinut, dar nu se aduce la cel mai mic numitor comun:
nu este cazul;

d) dacă se obțin numere negative, semnul minus este pus deasupra numerelor respective;

nu este cazul;

e) se introduc numerele obținute între paranteze rotunde:

(1 $\bar{1}$ 0 1).

I.3.2. Structuri cristaline principale ale metalelor pure

Principalele structuri cristaline ale metalelor pure sunt următoarele:

- cubică cu volum centrat (cc);
- cubică cu fețe centrate (cfc);
- hexagonal compactă (hc .

În tabelul 3 sunt exemplificate structurile cristaline ale principalelor metale din sistemul periodic al elementelor.

Tabelul 3.

0	Ia	IIa	IIIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIIIb	IXb	Xb	Ib	IIb	IIIa	IVa
1														
2	Li cc	Be hc												
3	Na cc	Mg hc												
4	K cc	Ca cfc cc	Sc cfc cc	Ti hc cc	V cc	Cr cc	Mn cubică	Fe cc cfc	Co hc cfc	Ni cfc	Cu cfc	Zn hc		
5	Rb cc	Sr cfc hc cc	Y hc	Zr hc cc	Nb cc	Mo cc	Te hc				Ag cfc	Cd hc		
6	Cs cc	Ba cc			Ta cc	W cc				Pt cfc	Au cfc		Tl	Pb cfc
7			Ac cfc											

Se observă că unele metale pot prezenta mai multe structuri cristaline, proprietate numită alotropie. Astfel, fierul suferă următoarele transformări alotropice la încălzire:

-la 912 ^{0}C: cc → cfc;
-la 1394 ^{0}C: cfc → cc.

Structura cubică centrată este constituită dintr-un motiv structural de doi ioni, unul în origine şi celălalt în în centrul celulei elementare (Fig.8).

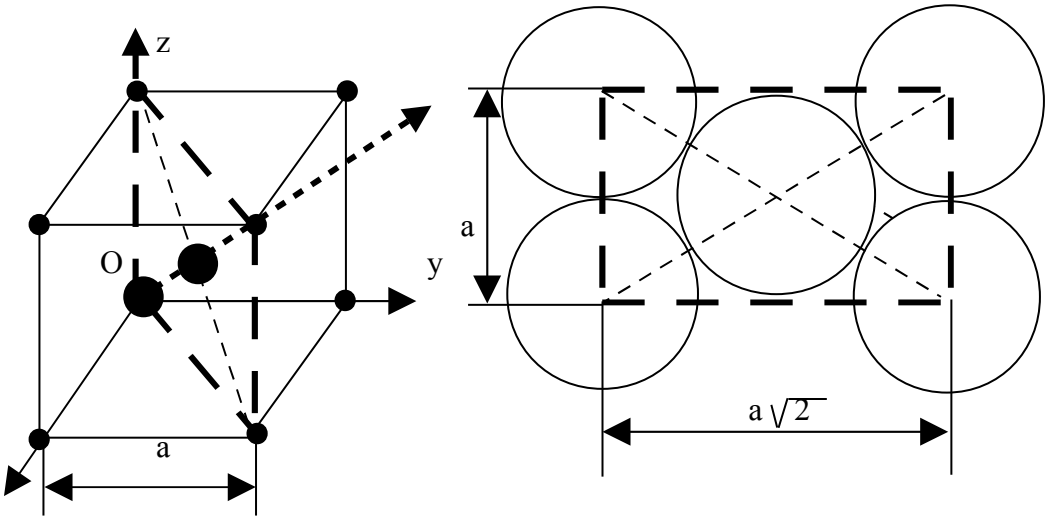


Fig.8
Structura cubică centrată
●ion al motivului structural; ▬ ▬limita unui exemplu de plan cu densitate mare de ioni; ▬▬▶ o direcție cu mare densitate de ioni

Celula elementară mai este caracterizată de următoarele elemente:
-numărul de ioni pe celulă = 2;
-numărul de coordinație = 8;

$$\text{-raza ionică} = \frac{a\sqrt{3}}{4} \quad . \qquad (2)$$

Structura cubică cu fețe centrate este constituită dintr-un motiv structural de patru ioni, unul în origine şi ceilalți trei în centrul fețelor celulei elementare (Fig.9).

Celula elementară mai este caracterizată de următoarele elemente:
-numărul de ioni pe celulă = 4;
-numărul de coordinație = 12;

$$\text{-raza ionică} = \frac{a\sqrt{2}}{4} \quad . \qquad (3)$$

Structura cubică cu fețe centrate prezintă o compactitate maximă, spre deosebire de structura cubică centrată.

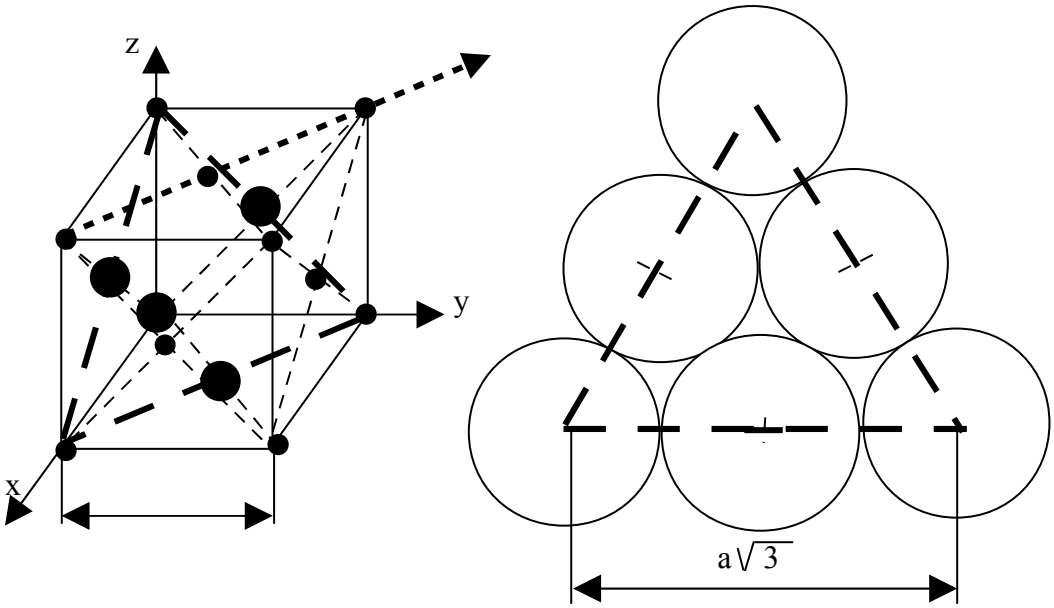


Fig.9

Structura cubică cu fețe centrate:

● -ion al motivului structural; — limita unui plan cu densitate mare de ioni; - - → o direcție cu mare densitate de ioni.

Structura hexagonal compactă este constituită dintr-un motiv structural de doi ioni, unul în centrul bazei hexagonale şi celălalt în centrul unui tringhi din planul median (Fig. 10).

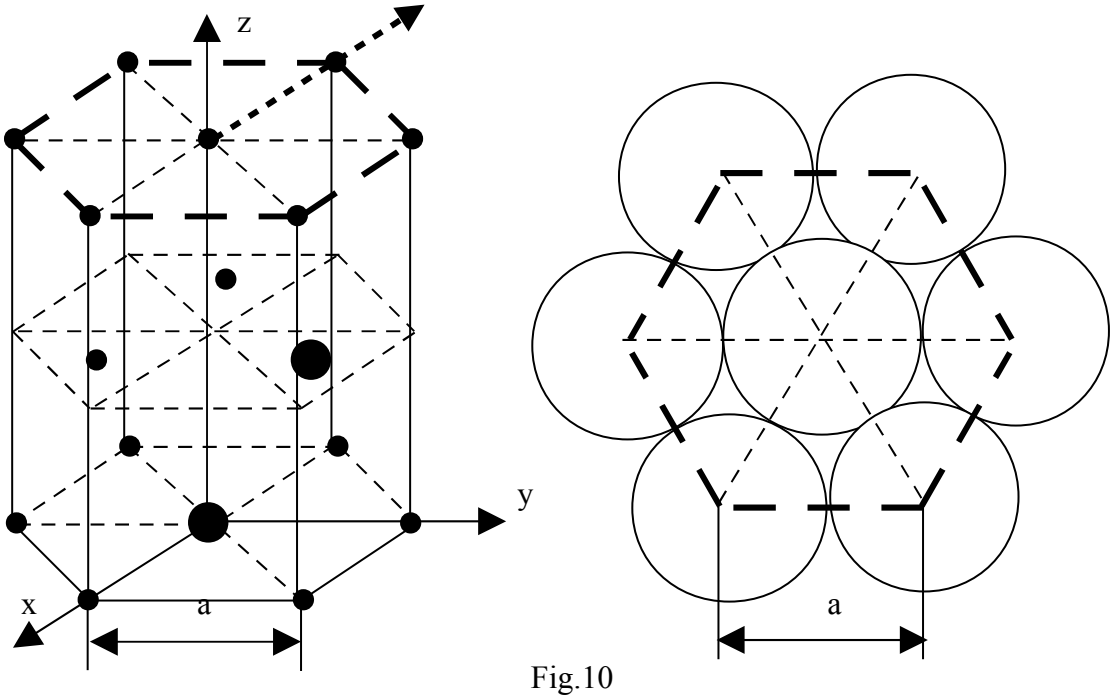
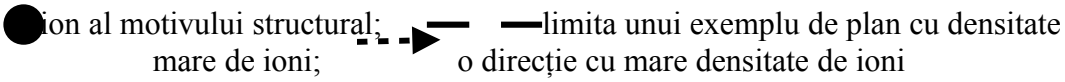


Fig.10

Structura hexagonal compactă



Celula elementară mai este caracterizată de următoarele elemente:

-numărul de ioni pe celulă = 6;

-numărul de coordinaţie = 12;

$$\text{-raza ionică} = \frac{a}{2} \quad . \tag{4}$$

I.3.3. Structuri cristaline ale aliajelor

Aliajul este un material metalic alcătuit din două (aliaj binar), trei (aliaj ternar) sau mai multe specii atomice numite componenţii aliajului. Unii componenţi ai aliajelor pot fi nemetale.

Sistemul de aliaje cuprinde totalitatea aliajelor care au aceiaşi componenţi.

Faza este o parte relativ omogenă din punct de vedere al structurii cristaline şi al caracteristicilor mecanice fiind separată prin suprafeţe interfazice de celelalte faze ale aliajului. Fazele specifice sistemelor de aliaje metalice sunt următoarele:

-metalul pur lichid;

-metalul pur solid;

-soluţia lichidă;

-compusul definit (faza intermediară);

-soluţia solidă.

Metalul pur lichid este faza în stare lichidă formată dintr-un singur component. El apare atunci când miscibilitatea în stare lichidă a celor doi componenţi este nulă.

Metalul pur solid este faza în stare solidă formată dintr-un singur component. El apare atunci când miscibilitatea în stare solidă a celor doi componenţi este nulă.

Soluţia lichidă este faza în stare lichidă în care componenţii nu se separă.

Compusul definit este fază solidă care corespunde unei anumite concentraţii bine definite şi având în marea majoritate a cazurilor o structură cristalină proprie, diferită de cea a componenţilor săi.

Soluţia solidă este o fază în care atomii unor elemente chimice substituie atomii ale altor elemente plasaţi în poziţii caracteristice structurii cristaline existente (soluţie solidă de substituţie) sau ocupă poziţii care nu aparţin reţelei cristaline existente a soluţiei solide (soluţie solidă de interstiţie).

Soluţiile solide de interstiţie apar atunci când ionii de interstiţie au dimensiuni mici, cum este cazul carbonului, hidrogenului, azotului, borului,etc.

Soluţiile solide de substituţie sunt cele mai numeroase. Ele pot fi:

- soluţiile solide dezordonate, dacă substituţia se realizează întâmplător;

- soluţiile solide ordonate, dacă substituţia se produce numai în anumite poziţii.

Dacă reţeaua cristalină a soluţiei solide este cea a unui component, atunci soluţia solidă este de speţa I[a]. Când structura cristalină a soluţiei solide este complet diferită

de cea a celor doi componenți, atunci soluția solidă este de speța a II[a] şi în literatura de specialitate este numită fază intermediară.

Soluția solidă izomorfă este soluția solidă de speța I[a], la care concentrația superioară a fiecărui element tinde la limită spre valoarea de 100%, iar concentația lor inferioară tinde la limită spre valoarea de 0% pentru aliajele din sistem. În acest caz, structura cristalină a soluției solide este a unuia sau a celuilalt component, care au rețele cristaline foarte apropiate (izomorfe).

Soluția solidă marginală este soluția solidă de speța I[a], la care concentrația superioară a unui component (metalul de bază) tinde la limită spre valoarea de 100%, iar concentrația celuilalt component atinge saturația. În prezenta lucrare, soluția solidă marginală, aşa cum a fost definită mai sus, va fi numită mai simplu, şi anume soluție solidă.

Faza intermediară este o soluție solidă de speța a II-a, în care concentrația superioară a nici unui component al aliajului binar nu tinde la limită spre valoarea de 100%, având sructura cristalină diferită de cea a celor doi componenți. În categoria fazelor intermediare intră compuşii definiți, care nu există la o compoziție stoechiometrică fixă, ci pe un domeniu de compoziție.

Într-un sistem de aliaje binare, un metal de bază poate fi prezent în mai multe soluții solide în funcție de stările lui alotropice şi de temperatură.

Compuşii definiți pot fi clasificați în funcție de criteriile de realizare astfel:

-electrochimici;

-de tip geometric;

-electronici.

Compuşii electrochimici sunt compuşi de valență normală. Structura cristalină a acestor compuşi poate fi de tipul:

-NaCl;

-CaF_2;

.ZnS;

-NiAs.

Compuşii de tip geometric au criteriu de realizare raportul dintre dimensiunile ionilor componenți. Dacă diferența de dimensiune ionică este:

-mare, atunci se formează compuşi de de tip Hägg;

-relativ mică, atunci se formează:

-compuşi interstiției;

- faze de tip Laves cu structura:

-$MgCu_2$;

-$MgZn_2$;

-$MgNi_2$;

- faze de tip sigma.

În categoria compuşilor interstiției intră şi cementita, care are o structură ortorombică.

Concentrația electronică (c.e. = raportul dintre numărul electronilor periferici şi numărul de ioni din compus) poate lua valorile:

-3 / 2;

-21 / 13;

-7 / 4.

Compuşii electronici cu c.e. = 3 / 2 au o structură cristalină c.v.c., asemănătoare cu faza β din alame.

Compuşii electronici cu c.e.= 21 / 13 au o structură cristalină cubică complexă, asemănătoare cu faza γ din alame.

Compuşii electronici cu c.e.= 7 / 4 au o structură cristalină hexagonal compactă, asemănătoare cu faza ε din alame.

De asemenea, într-un sistem de aliaje binar, între cei doi componenți pot apare unul sau mai mulți compuşi definiți.

Aceeaşi soluție solidă, aceeaşi fază intermediară sau acelaşi compus definit pot fi primari, secundari, terțiari în funcție de ordinea apariției lor la răcire.

Constituentul metalografic este agregatul cristalin cu aspect distinct la analiza micrografică. În cazul aliajelor binare, constituenții metalografici pot fi:

-monofazici:
  -metale pure;
  -compusul definit (faza intermediară);
  -soluții solide;
-bifazici:
  -eutectici;
  -eutectoizi.

I.3.4. Defecte cristaline

Metalele şi aliajele au o structură formată dintr-o multitudine de microvolume de formă poliedrică, nuimite cristalite sau grăunți cristalini. Dimensiunea medie a grăunților cristalini este de 2-20 μm, în funcție de condițiile de solidificare.

Cristalele nu sunt perfecte. Întotdeauna există anomalii de la aranjamentul ionilor. Defectele cristaline pot fi:

-punctiforme:
-liniare;
-de suprafață.

Defectele punctiforme pot rezulta ca urmare a prezenței:

  -unui ion al matricei în poziție interstițială (autointerstițial);
  -unui ion străin în poziție interstițială (ion străin interstițial);
  -unui ion străin în poziție substituțională (ion străin substituțional);
  -unui lac vacant în structura cristalină (vacanță).

Vacanțele stau la baza mecanismului principal de difuzie şi concentrația lor de echilibru creşte cu temperatura.

Defectele liniare se mai numesc dislocații. Dislocațiile pot fi:

  -marginale;
  -elicoidale.

În cazul dislocației marginale, vectorul Burgers ($\vec{b}$) este un defect de închidere al circuitului Burgers şi este perpendicular pe linia de dislocație. Vectorul unitar L al liniei de dislocație este determinat de regula burghiului pentru o parcurgere în sensul acelor de ceasornic a circuitului Burgers (Fig. 11).

$$\left| \vec{b} \right| = \text{distanța interionică} \qquad (5)$$

În cazul dislocației elicoidale, vectorul Burgers este paralel cu linia de dislocație.

Dislocațiile stau la baza mecanismului principal de deformare plastică.

Lungimea liniilor de dislocații raportată la unitatea de volum, numită densitate de dislocații, are ordinul de mărime:

-10^6-10^8 cm / cm^3, la un metal recopt;

-10^{11}-10^{12} cm / cm^3, la un metal deformat puternic.

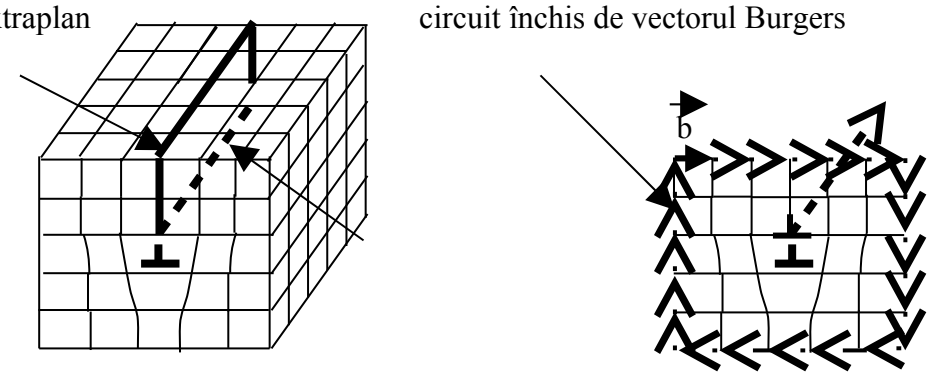

extraplan
circuit închis de vectorul Burgers
b
plan de alunecare format de dislocația marginală şi de vectorul Burgers
direcție de alunecare

Fig.11

Dislocație marginală ▶

L-vectorul unitar al liniei de dislocație marginală; b-vectorul Burgers

Defectele de suprafață pot fi:

-suprafețele libere;

-limitele de grăunți;

-interfețele dintre două faze.

Suprafețele libere sunt suprafețele de separație dintre materialul metalic şi diferite gaze. În marea majoritate a cazurilor, ele nu sunt netede, motiv pentru care le sunt asociate o energie de suprafață, cu atât mai mică cu cât panul cristalografic este cu densitate mai mare de ioni. Substratul aflat în imediata apropiere a suprafeței libere poate suferi o modificare a orientării planelor cristaline.

Aceste defecte au influență în procesele de frecare, coroziune, sudare etc.

Limitele de grăunți (Fig.12) separă microvolume cu orientări cristalografice diferite. În funcție de mărimea unghiului de dezorientare (θ), limitele de grăunți pot fi:

-limite la unghiuri mici, dacă $\theta \leq 10^0$;

-limite la unghiuri mari, dacă $\theta > 10^0$.

Limitelor de grăunți le este asociată o energie şi constitue:

-locuri pentru amplasarea impurităților;
-obstacole în calea deplasării dislocațiilor.

Aceste defecte au influență majoră asupra proprietăților mecanice ale materialelor metalice.

Interfețele dintre două faze pot fi:

-incoerente, dacă nu există continuitate între planele cristaline ale celor două faze;

-coerente, dacă există continuitate între planele cristaline ale celor două faze.

Interfețelor coerente le este asociată o deformare locală a structurii cristaline.

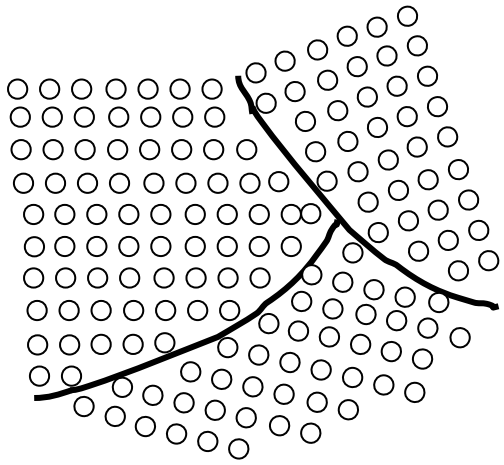


Fig.12
Limită de grăunte

CAPITOLUL II
COMPORTAMENTUL MATERIALELOR METALICE LA SOLICITĂRI MECANICE

II.1. Introducere

Forma clasică a unei diagrame de tracțiune este prezentată în figura 13.

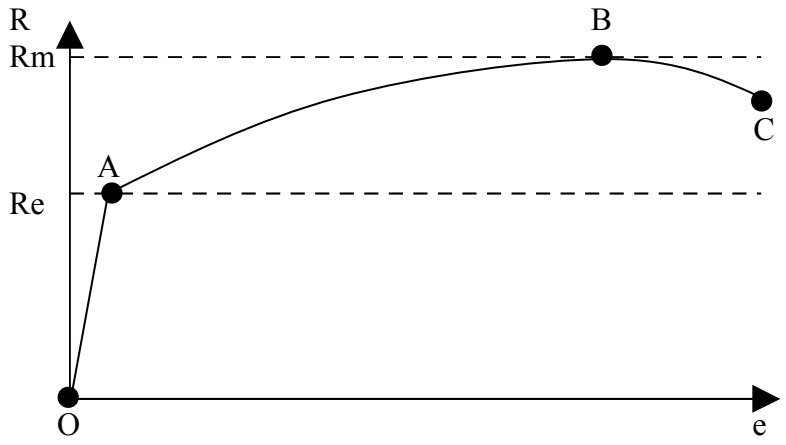


Fig.13
Diagramă clasică de tracțiune:
OA-domeniul elastic al deformației reversibile; AB-domeniul deformației permanente omogene sau al deformației permanente repartizate; BC-domeniul de gâtuire sau al deformației plastice localizate.

Limita de elasticitate este una din principalele caracteristici mecanice luate în calculul de dimensionare al pieselor. Prin utilizarea materialelor cu limită mare de elasticitate se pot proiecta piese cu secțiuni mai mici şi cu greutate mai mică.

Limita aparentă de elasticitate (R_e) este dată de relația următoare:

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \qquad (6)$$

în care: F_e este forța limitei de elasticitate;

S_0-secțiunea inițială.

Limita aparentă de elasticitate (R_e) mai este numită limită de curgere.

Deoarece unele diagrame de tracțiune nu prezintă limită aparentă de elasticitate netă, a fost necesar să se definească şi următoarele mărimi:

-limita alungirii remanente de 0,2 % ($R_{r0,2}$):

$$R_{r0,2} = \frac{F_{r0,2}}{S_0} \qquad (7)$$

-limita convențională de elasticitate ($R_{p0,2}$):

$$R_{p0,2} = \frac{F_{p0,2}}{S_0} \qquad (8)$$

Aşa cum se observă în figura 9, diagrama tracțiunii prezintă trei domenii principale:

-domeniul elastic al deformației elastice;

-domeniul deformației permanente omogene sau al deformației permanente repartizate;

-domeniul de gâtuire sau al deformației plastice localizate.

II.2. Limita de elasticitate la forfecare în cazul ruperii simultane a legăturilor metalice dintre toți ionii

Pentru determinarea limitei de elasticitate la forfecare (τ_{cr}) în cazul ruperii simultane a legăturii metalice dintre toți ionii, se consideră un monocristal, ca în figura 14.

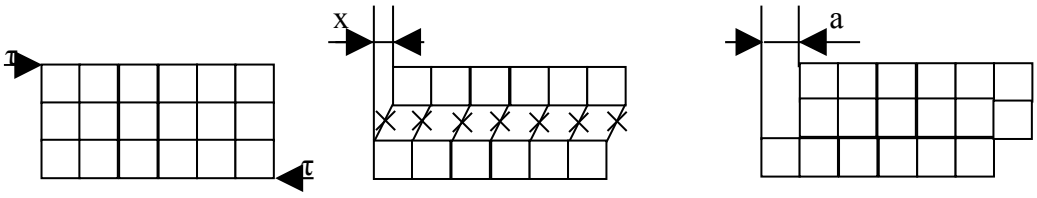


Fig. 14
Etape ale forfecării simultane a unui monocristal

Se poate scrie relația:

$$\tau = \tau_{cr} \sin \frac{2\pi x}{a} \qquad (9)$$

Dacă $\frac{x}{a}$ are valori mici, atunci relația (8) devine:

$$\tau = \tau_{cr} \frac{2\pi x}{a} \qquad (10)$$

Pe de altă parte se poate scrie relația:

$$\tau = G \frac{x}{a} \qquad (11)$$

în care G este modulul de forfecare.

Din relațiile (10) şi (11) rezultă:

$$\tau = \frac{G}{2\pi} \qquad (12)$$

Această valoare este mult mai mare decât valorile determinate experimental, şi anume:

$$\tau \approx \frac{G}{10^4} \qquad (13)$$

II.3. Mecanismul deformării plastice prin alunecare

Diferența enormă dintre valorile calculate şi cele determinate experimental ale limitei de elasticitate la forfecare au condus la introducerea conceptului de dislocație (Taylor).

Dacă deformarea are loc prin rupera progresivă a legăturilor metalice dintre ioni, atunci efortul necesar este mult mai mic, iar la scară macroscopică efectul este acelaşi (Fig. 15).

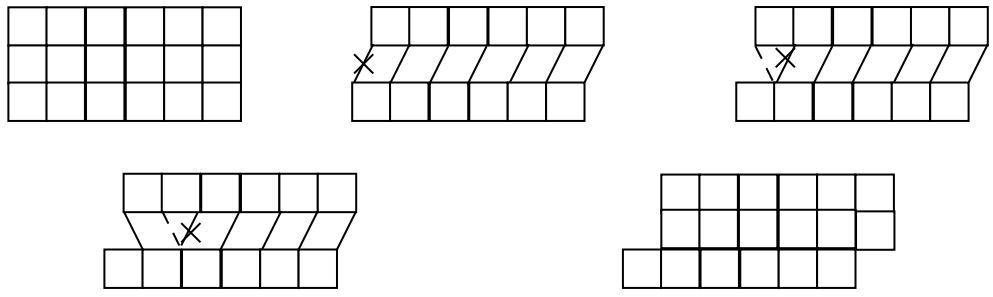


Fig. 15
Etape ale forfecării succesive a legăturilor metalice dintre ioni într-un monocristal

În natură sunt numeroase exemple de deplasare prin zone de deformare locale, cum sunt următoarele:

-deplasarea omizilor prin comprimare locală şi succesivă (Fig. 16);
-deplasarea viermilor prin ştrangulare locală şi succesivă (Fig. 17).

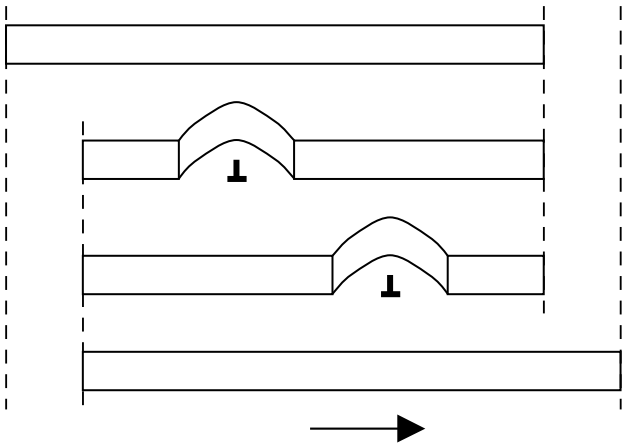


Fig. 16
Deplasarea omizilor prin comprimare locală şi succesivă

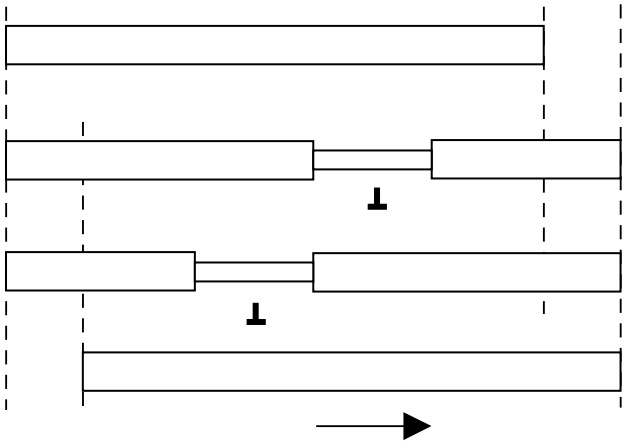
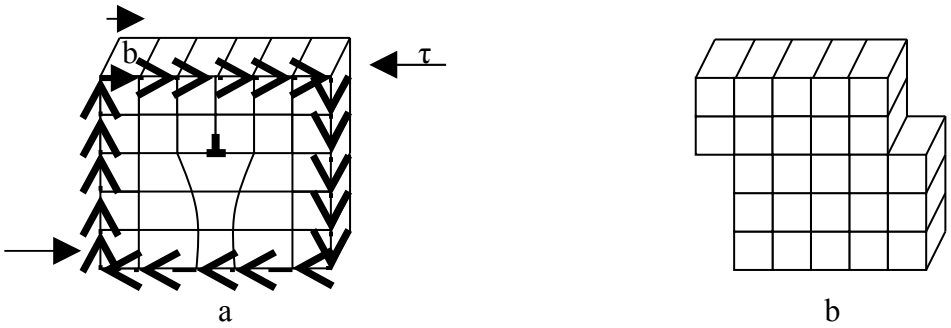


Fig. 17
Deplasarea viermilor prin ştrangulare locală şi succesivă



a b

Fig. 18
Deplasarea succesivă a dislocației

a-monocristalul înaintea deformării; b-monocristalul deformat plastic;
⊥-linia dislocației; < -segment al circuitului Burgers; → -vectorul Burgers

Aşa cum se observă în figurile (15) şi (18), deplasarea extraplanului dislocației, prin ruperea succesivă a legăturilor dintre ioni, permite deformarea plastică mult mai uşoară a monocristalului. Când linia dislocației a ajuns la extremitatea monocristalului, se produce deformarea plastică a acestuia. Altfel spus, o parte a monocristalului au alunecat pe cealaltă la nivelul liniei dislocației marginale pe direcția vectorului Burgers.

II.4. Sisteme de alunecare

Energia liberă pe unitatea de lungime, ataşată unei linii de dislocații este proporțională cu Gb^2. Rezultă că dislocațiile cele mai stabile au vectorul Burgers cel mai mic.

De asemenea, există sisteme de alunecare, formate din:

-direcții de alunecare,

-plane de alunecare.

Direcțiile de alunecare, sau direcțiile vectorilor Burgers sunt direcțiile cu mare densitate de ioni.

Planele de alunecare sunt planele cu mare densitate de ioni deoarece:

-conțin direcțiile de alunecare;

-sunt cele mai depărtate între ele.

Fiecare structură cristalină are un număr bine definit de sisteme de alunecare (Tabelul 4).

Tabelul 4

Structura cristalină	Număr de sisteme de alunecare
cc	24
cfc	24
hc	6

În cazul unui monocristal supus la tracțiune (Fig. 19), efortul unitar la forfecare (τ) este dată de relația Schmid-Boas:

$$\tau = \frac{F \cos\chi \cos\lambda}{S_0} = \sigma \cos\chi \cos\lambda \qquad (14)$$

Sistemul de alunecare este începe să funcționeze atunci când efortul unitar la forfecare (τ) este mai mare decât o valoare critică (τ_c):

$$\tau \geq \tau_c \qquad (15)$$

Limita elastică scade:
-la creşterea temperaturii;
-cu puritatea.

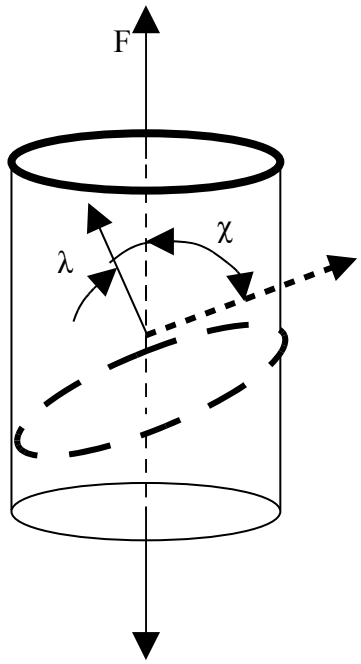


Fig.19.
direcție de alunecare; limita planului de alunecare de arie S;
limita secțiunii transvesale a monocristalului de arie S_0

La nivelul grăuntelui cristalin, deformarea plastică prin alunecare produce pe suprafață denivelări sub formă de trepte înguste, care sunt vizibile sub formă de linii paralele (benzi de alunecare) cu ajutorul microscopului metalografic.

II.5. Mecanismul deformării plastice prin maclare

Mecanismul de deformare cu deplasarea dislocațiilor este cel mai important, dar există şi alte mecanisme, printre care maclarea este remarcabilă.

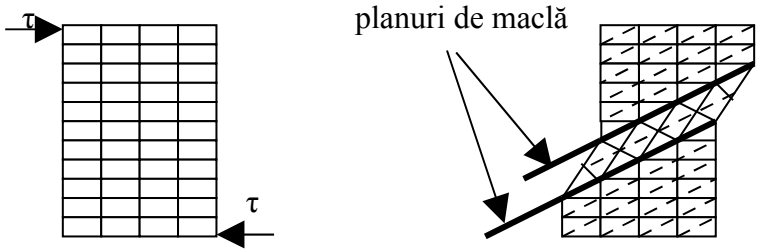


Fig.20
Schema clasică a maclării

Deformarea plastică prin maclare se produce prin schimbarea orientării planelor cristaline din partea deformată, astfel încât partea deformată devine simetrică față de partea nedeformată (Fig.15). Planul de simetrie se numeşte plan de maclă.

În funcție de structura cristalografică, sistemul de maclare este format din:

-direcție de maclare;

-plan de maclare;

-grad de maclare.

Sistemul de alunecare este începe să funcționeze atunci când efortul unitar la forfecare (τ) este mai mare decât o valoare critică (τ_c). Această valoare depinde de:

-ctructura cristalină;

-temperatură.

Astfel, în cazul metalelor cu structură cubică centrată, mecanismul deformării poate fi predominant prin alunecare la temperaturi ridicate şi predominant prin maclare la temperaturi scăzute (Fig.21).

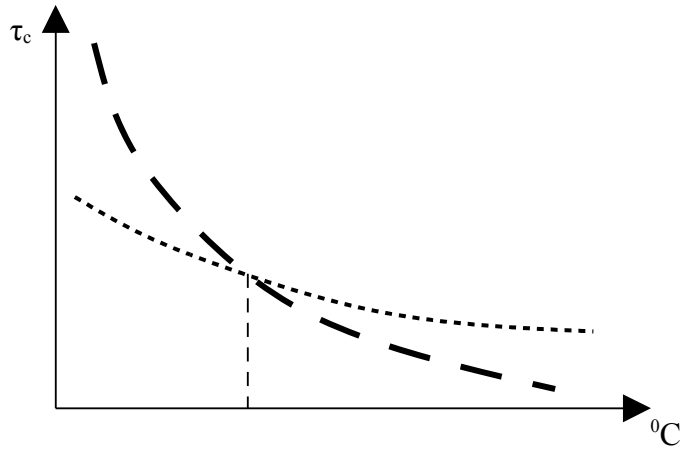


Fig.21
Variația cu temparatura a efortului unitar critic de forfecare
la structura cubică centrată:
alunecare; maclare

În cazul metalelor cu structură cubică cu fețe centrate, mecanismul deformării este prin alunecare.

Dacă structura metalelor este hexagonal compactă, mecanismul deformării este predominant prin maclare.

La nivelul grăuntelui cristalin, deformarea plastică prin maclare produce pe suprafață denivelări sub formă de trepte mult mai largi decât în cazul deformării prin alunecare , care sunt vizibile sub formă de linii paralele cu ajutorul microscopului metalografic.

II.6. Mecanismele durificării

În general, un material metalic este cu atăt mai dur cu cât limita aparentă de elasticitate (R_e), numită şi limita de curgere este mai mare.

Limita de curgere poate fi îmbunătățită teoretic prin două modalități principale:
-eliminarea dislocațiilor;
-blocarea dislocațiilor.

Dacă eliminarea dislocațiilor ar fi posibilă la scară industrială, limita de curgere ar fi, aşa cum rezultă din relațiile (12) şi (13), de $10^4 / 2\pi$ mai mare.

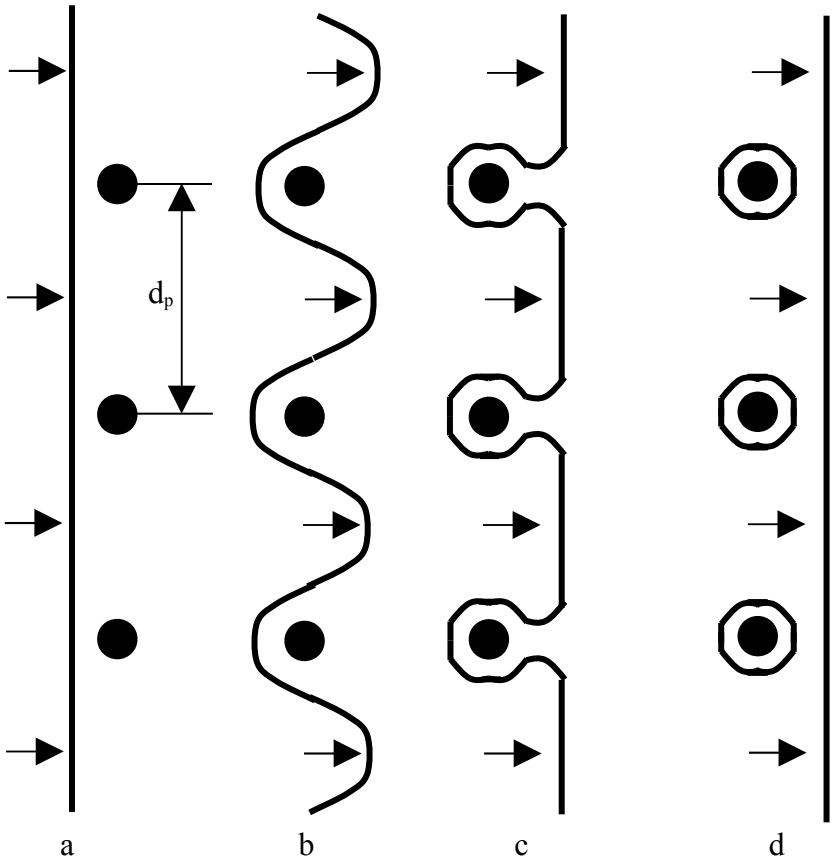


Fig.22

Ilustrarea deplasării unei linii de dislocație printre particulele unei a doua faze care se găsesc în planul ei de alunecare:
a,b,c,d-etape ale deplasării unei linii de dislocație printre particulele unei a doua faze, particule care se găsesc în planul ei de alunecare.

Deoarece materialele metalice sunt policristaline, blocarea dislocațiilor are două aspecte şi anume:

-blocarea dislocațiilor în interiorul grăuntelui cristalin (creşterea limitei de curgere intrinseci);

-blocarea reciprocă a dislocațiilor

-blocarea dislocațiilor la nivelul limitei de grăunte.

Pentru deplasarea unei dislocații izolate în interiorul unui grăunte cristalin, este necesar să se exercite la nivelul inimei dislocației respective o forță numită Peierls-Nabaro. Această forță este dificil de determinat.

În afară de forța Peierls-Nabaro, creşterea limitei de curgere intrinseci mai poate fi influențată datorită a trei efecte şi anume:

-efectul punerii în soluție;

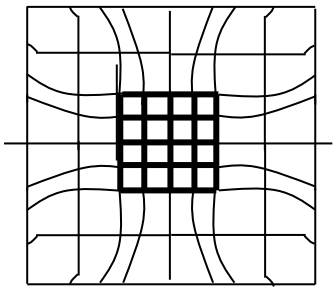
-efectul precipitării unei a doua faze;

-efectul creşterii densității dislocațiilor.

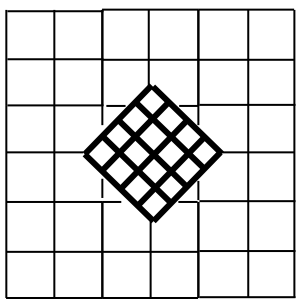
Introducerea unui element de aliere într-o soluție solidă, produce un câmp de tensiuni în rețeaua cristalină, care interacționează cu cel corepunzător dislocației, constituindu-se ca un obstacol în calea dislocației respective. Aşezarea preferențială a atomilor elementelor de aliere în jurul inimii dislocației duce la scăderea energiei sistemului şi în consecință se produce spontan. Acest efect face ca un metal pur să fie mai moale decât aliajul său.

Prezența în interiorul unui grăunte cristalin a unor particule dure (care se foarfecă foarte greu) şi bine dispersate constituie un mijloc foarte eficace de blocare a dislocațiilor. Cu cât distanța (d_p) dintre două particule este mai mică, cu atât efortul necesar pentru ca dislocația să le depăşească trebuie să fie mai mare. Mecanismul acestei durificări este prezentat schematic în figura 22. În urmă, dislocația lasă câte un cerc de dislocație în dreptul fiecărei particule.

De asemenea, s-a demonstrat că precipitatele coerente cu rețeaua cristalină a matricei metalice (la care planele cristaline au continuitate cu planele cristaline ale matricei metalice) blochează mai eficient dislocațiile decât un precipitat incoerent. Diferența dintre un precipitat coerent şi unul incoerent este ilustrată în figura 23.



a



b

Fig.23

Ilustrarea diferenței dintre un precipitat coerent şi unul incoerent:
a-precipitat coerent; b- precipitat incoerent.

Un alt fapt remarcabil este existența unei mărimi critice a particulelor sub care efectul lor asupra durificării devine neglijabil.

În acelaşi timp, creşterea mărimii pariculelor, ca urmare, de exemplu, a fenomenului de coalescență diminuează considerabil efectul lor asupra durificării.

Dislocațiile se pot bloca reciproc în cazul măririi densității dislocațiilor.

Pe parcursul unei deformații plastice la rece se observă o creştere a densității dislocațiilor. Datorită interacțiunii dintre dislocații, aliajul se durifică, fenomen numit consolidare.

Dacă materialul metalic este supus unei încălziri, apare o rearanjare şi o anihilare reciprocă între dislocații, care duce la o scădere progresivă a limitei de curgere. Acest comportament este numit fenomen de restaurare şi precede fenomenul de recristalizare, care este însoțit de o scădere bruscă a limitei de curgere. Ambele fenomene devin scopul unor tratamente termice care poartă acelaşi nume: tratamentul termic de restaurare, respectiv de recristalizare.

Blocarea dislocațiilor la nivelul limitei de grăunte se datoreşte faptului că nu există continuitate între planele diferiților grăunți cristalini. Astfel, planul de alunecare, orientat favorabil conform legii Schmid Boas, în care se deplasează o dislocație într-un grăunte cristalin, nu se continuă în grăunții vecini. Deformarea plastică se propagă de la un grăunte cristalin la altul atunci când se depăşeşte o anumită valoare critică de forfecare, care este variabilă în funcție de dimensiunea medie a grăunților (d).

Valoarea globală a limitei de curgere se poate calcula cu ajutorul relației Hall-Petch (16), care exprimă dependența acestei caracteristici mecanice de dimensiunea medie a grăunților (d).

$$R_e = R_i + \frac{k_e}{\sqrt{d}} \qquad (16)$$

în care:

R_i este limita de curgere intrinsecă;

k_e - constantă.

CAPITOLUL III
DIFUZIA ÎN MATERIALELE METALICE

III.1. Introducere

Un corp metalic, deşi la prima vedere pare a fi masiv şi rigid, totuşi, la scară atomică s-a observat că este mai mult spațiu gol decât dens şi că ionii (atomii) se mişcă continuu pe distanțe mai mici sau mai mari. Această mişcare a ionilor (atomilor) metalici într-un corp solid este numită difuzie.

Difuzia se produce la orice temperatură mai mare de 0 K şi prezintă un interes deosebit când duce la modificări pronunțate ale proprietăților materialelor metalice.

III.2. Difuzia în metale (Autodifuzia)

III.2. 1. Mecanismele difuziei în metale

Autodifuzia se realizează prin salturi ale ionilor activați termic din vechea poziție într-o poziție vecină. Pentru executarea unui salt difuziv, este necesar să existe o fluctuație foarte mare a energiei de vibrație a ionilor, corelată cu o sincronizare corespunzătoare a mişcării ionilor vecini.

Mecanismele posibile ale autodifuziei sunt următoarele:

-cu vacanțe (Fig. 24.a);

-cu interstițial (Fig. 24.b)

-schimbul direct (Fig. 24.c);

-schimbul ciclic (Fig. 24.d).

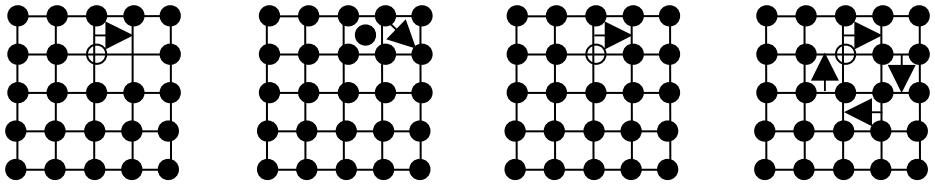
Vacanțele uşurază mult saltul atomilor din jur. Asfel, ionul marcat (izotopul radioactiv) avansează pe o distanță ineratomică spre dreapta, făcând un salt spre dreapta. Vacanța se deplasează simultan spre stânga şi este gata pentru o nouă schimbare.

Deşi teoretic s-ar părea că autodifuzia se produce aproape numai prin mecanismul cu vacanțe, totuşi este posibil ca în unele cazuri, mult mai rare, să fie implicat şi mecanismul cu interstițial.

Mecanismul cu intersițial are loc dacă raza ionică (atomică) este foarte mică (carbon, azot, hidrogen, oxigen, bor).

Dacă autodifuzia se produce prin cele două mecanisme, atunci autodifuzia se mai numeşte în volum.

Viteza de difuzie poate fi mărită prin aşa-numitele scurt-circuitele de autodifuzie, care pot fi dislocaţiile şi limitele de grăunţi. Viteza marită a difuziei este importantă în cazul precipitării intergranulare.



a b c d

Fig. 24

Mecanismele posibile ale autodifuziei:

a-cu vacanţe; b-cu interstiţial; c-schimbul direct; c-schimbul ciclic

○ -ion marcat ● -ion nemarcat.

III.2. 2. Legile autodifuziei

Transportul de masă prin difuzie este descris cantitativ la nivel macroscopic de legile lui Fick.

Prima lege a lui Fick (17) este o relaţie cantitativă între gradientul de concentraţie şi cantitatea de material transportată, cu ajutorul căreia se defineşte coeficientul de autodifuzie în cazul difuziei în regim staţionar, numită şi difuzie uniformă (gradientul de temperatură este independent de timp).

$$j_i = -D^* \text{grad } c_i \qquad (17)$$

în care: j_i este fluxul de difuzie al ionilor solvaţi (marcaţi), care trece prin unitatea de suprafaţă a ionilor solvenţi (nemarcaţi) în unitatea de timp pe direcţiile x,y şi z;

D^* - coeficientul de autodifuzie;

c_i = concentraţia ionilor solvaţi (marcaţi) în ionii solvenţi (nemarcaţi).

Pe direcţia x, relaţia (17) devine:

$$j_i = -D^* \frac{c_i}{x} \qquad (18)$$

în care: c_i / x este variaţia concentraţiei de ioni solvaţi (marcaţi) în ionii solvenţi (nemarcaţi) pe direcţia x.

Modificarea în timp a concentraţiei este dată de legea a II-a a lui Fick (19), care permite, de asemenea, calculul coeficientului de autodifuzie în cazul difuziei în regim nestaţionar numită şi difuzie uniformă (gradientul de temperatură este independent de timp).

$$\frac{\partial c_i}{} = \text{div } (D^* \text{grad } c_i) \qquad (19)$$

∂t

Pe direcția x, relația (19) devine:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left\langle D^* \frac{\partial c_i}{\partial x} \right\rangle \qquad (20)$$

Dacă se introduce o simplificare, considerându-se D* constant, atunci relația (20) devine:

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} = D^* \frac{\partial^2 c_i}{\partial x^2} \qquad (21)$$

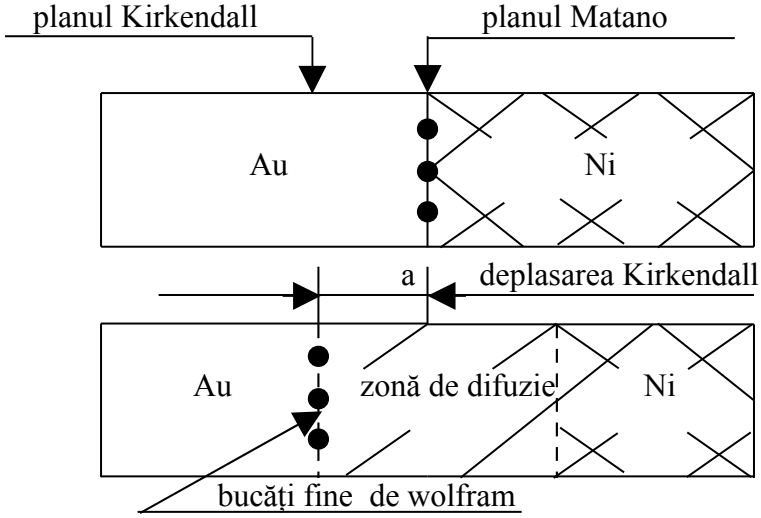
Difuzia neuniformă este cazul cel mai întâlnit în procesele metalurgice.

III.3. Difuzia în aliaje

III.3.1. Mecanismele difuziei în aliaje

Teoretic, mecanismele posibile ale autodifuziei sunt aceleaşi cu ale autodifuziei:
-cu vacanțe;
-cu interstițial;
-schimbul direct;
-schimbul ciclic.

Mecanismul cu vacanțe a fost demonstrat printr-o experiență la care s-au pus capăt la capăt doua bare, una de aur şi una de nichel (Fig. 25). La suprafața de separație (planul Matano) au fost plasate bucăți mici de sîrmă wolfram foarte fină. Dacă se supune acest ansamblu unei recoaceri repetate, unii ionii de aur trec în bara de nichel şi invers. S-a observat că numărul ionilor de aur care trec prin planul Matano este mai mare decât cel de nichel. Rezultă că există un exces de ioni care se deplasează spre dreapta şi, în consecință, un exces de vacanțe care se deplasează spre stânga , antrenând astfel deplasarea bucăților de sârmă spre stânga. Deplasarea sârmelor se poate măsura şi se numeşte deplasarea Kirkendall.



b

Fig.25
Mecanismul cu vacanțe al difuziei în aliaje:
a-înaintea încălzirii, b-după încălzire un timp t_1.

Variația concentrației aurului în diferite etape ale difuziei în ansamblul format de cele două bare, puse capăt la capăt, una de aur şi una de nichel, este dată în figura 26.

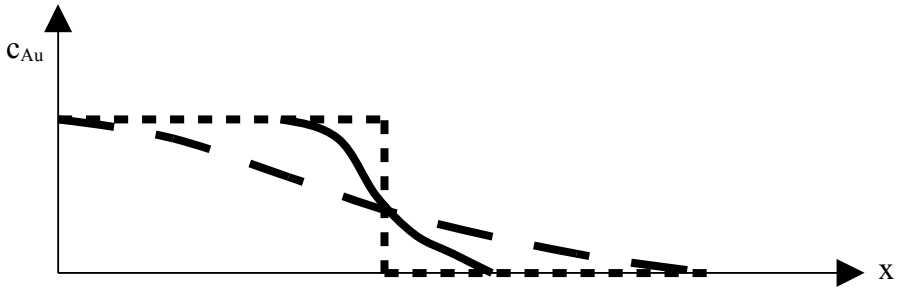


Fig.26
Variația concentrației aurului în diferite etape ale difuziei:
la $\tau = 0$; la $\tau = \tau_1$; la $\tau_2 > \tau_1$

III.3.2. Legile difuziei în aliaje

Legile difuziei sunt asemănătoare cu cele ale autodifuziei, cu deosebirea că apare coeficientul de difuzie D în locul coeficientului de autodifuzie D*.

Coeficientul de difuzie poate fi determinat cu relația:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{\Delta H_p}{RT}\right) \qquad (22)$$

în care: D_0 este constantă legată de frecvența saltului;
R-constanta gazelor reale;
T-tmperatura în K;
ΔH_p – entalpia de activare molară în J / mol.
În afară de aceşti factori, coeficientul de difuzie este influențat şi de alți factori:
-compoziția chimică;
-structura cristalină.
Această influență este exemplificată în tabelul 5.

Tabelul 5.

Elementul chimic		Temperatura K	D_0 cm^2 / s	ΔH_p kJ / Mmol
Denumire	Concentrație %			
Carbon	0,47	1198-1373	0,67	157,5

Carbon	2	1073-1573	0,27	145

Transformările de fază bazate pe difuzie prezintă două etape importante:
-germinarea;
-creşterea.

Germenii apar ca urmare a unei variații de compoziție a fazei inițiale. Ei au structura cristalină coerentă cu faza inițială şi sunt formați din câteva sute de atomi. Există o dimensiune criticăsub care un germen nu se poate dezvolta şi dispare.

Dacă temperatura creşte, germenii devin:
-mai puțin numeroşi;
-mai mari;
-semicoerenți sau incoerenți cu faza inițială.

III.4. Aplicații ale legilor difuziei

III.4. 1. Aplicații ale legilor difuziei în regim staționar (difuzia uniformă)

În acest caz, gradientul de concentrație al impurității difuzante este menținut constant în timp, deci:

$$\frac{\partial c_i}{\partial \tau} = 0 \qquad (23)$$

Din relațiile (21) şi (22) rezultă:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(D \frac{\partial c_i}{\partial x} \right) = 0 \qquad (24)$$

În consecință:

$$D \frac{\partial c_i}{\partial x} = \text{constant} \qquad (25)$$

Relația (25) se mai poate scrie

$$D \frac{\Delta c_i}{\Delta x} = \text{constant} \qquad (26)$$

Această soluție a legilor lui Fick se poate aplica în cazul difuziei hidrogenului printr-o folie metalică, la care există o diferență de presiune a hidrogenului constantă a atmosferei cu care vine în contact fiecare din cele două suprafețe (Fig. 27).

Astfel, cantitatea de hidrogen (Q) care traversează folia metalică în unitate de timp este:

$$Q = J_x \; S = D_H \frac{c_2 - c_1}{L} \qquad (27)$$

în care: S este aria suprafeței foliei metalice;

L –grosimea foliei metalice.

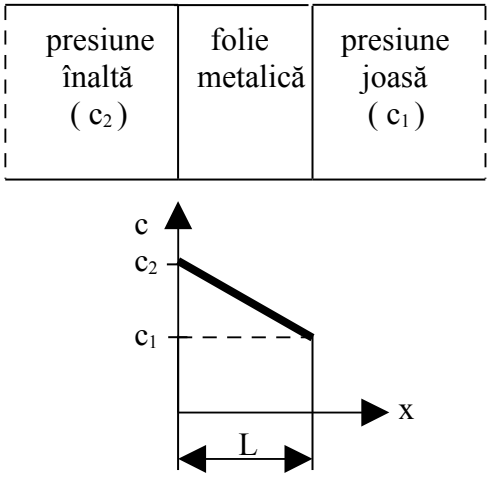


Fig. 27

Difuzia uniformă a hidrogenului printr-o folie metalică:

c_1 – concentrația hidrogenului în atmosfera cu presiune joasă;

c_2 – concentrația hidrogenului în atmosfera cu presiune înaltă.

Un alt exemplu de aplicație este determinarea grosimii unui strat de oxid pe suprafața unui corp metalic aflat în contact cu o atmosferă oxidantă (Fig. 28).

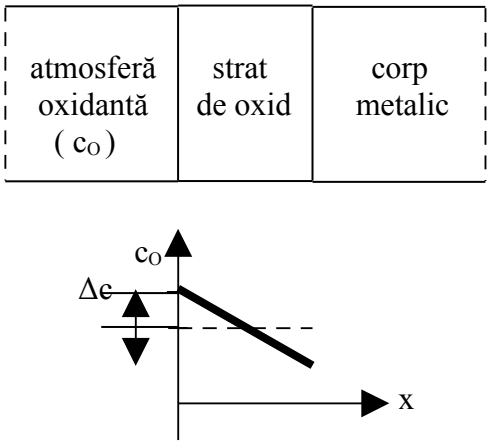


Fig. 28

Difuzia uniformă a oxigenului printr-un strat de oxid:

c_O- concentrația oxigenului în stratul de oxid.

Viteza de creştere a stratului de oxid (dx / τ) este proporţională cu fluxul de ioni de oxigen (J_O) care difuzează prin stratul de oxid pe o direcţie perpendiculară pe suprafaţa metalului:

$$\frac{dx}{d\tau} = kJ_O \qquad (28)$$

Concentraţia de oxigen scade în stratul de oxid de la stânga la dreapta:

$$\Delta c < 0 \qquad (29)$$

Din relaţiile (26), (28) şi (29) rezultă:

$$\frac{dx}{d\tau} = - kD_O \frac{\Delta c}{x} \qquad (30)$$

Din relaţia (30) rezultă:

$$x^2 = - (2kD_O \Delta c) \tau = K^2 \tau \qquad (31)$$

Se poate scrie relaţia:

$$- (2kD_O \Delta c) \tau = K^2 \qquad (32)$$

Rezultă:

$$x = K\sqrt{\tau} \qquad (33)$$

III.4. 2. Aplicaţii ale legilor difuziei în regim nestaţionar (difuzia neuniformă)

Un exemplu de aplicare a legilor difuziei neuniforme este carburarea unui corp din fier tehnic pur (Fig. 29). Practic se poate determina conţinutul minim de carbon al corpului metalic la o anumită adâncime de la suprafaţă.

Datele problemei sunt următoarele:

-timpul $\tau = 10$ ore;

-temperatura $T = 1200$ K;

-concentraţia gazului metan din atmosfera agregatului de cementare la suprafaţa corpului metalic $c_s = 1,4$ %;

-adâncimea de la suprafaţă $x = 0,3$ cm.

În stratul cementat, concentraţia carbonului scade de la c_S la c_0 conform relaţiei:

$$c = c_0 + (c_s - c_0) \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left[\frac{x}{\sqrt{\quad}} \right] \right\} \qquad (34)$$

$2 D_C \tau$

în care: c_0 este concentrația inițială a corpului metalic;

D_C – coeficientul de difuzie al carbonului;

x- adâncimea în placă la care concentrația de carbon este egal cu c;

erf[ ] - funcția erorilor lui Gauss, ale căror valori în funcție de argument este dată în tabelul 6.

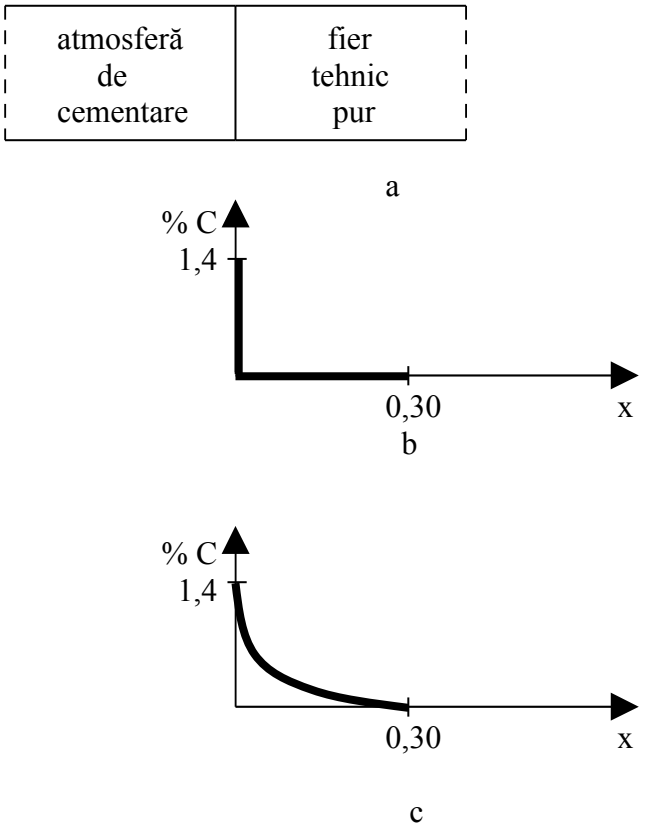


Fig. 29

Difuzia carbonului într-un corp de fier

a-reprezentarea schematică a corpului solid din fier; b-variația conținutului de carbon la începutul cementării; c- variația conținutului de carbon la momentul τ.

Tabelul 6.

( )	erf ( )
0	0,000
0,1	0,112
0,2	0,223
0,3	0,329
0,4	0,428
0,5	0,521
0,6	0,6604
0,7	0,678
0,8	0,742

0,9	0,797
1,0	0,843
1,2	0,910
1,4	0,952
1,6	0,976
2,0	0,995
2,4	0,999

Se consideră că:

$$c_0 = 0 \tag{35}$$

Din relațiile (33) şi (34) rezultă:

$$c = c_s \left\{ 1 - \text{erf} \left[\frac{x}{\sqrt{2 D_c \tau}} \right] \right\} \tag{36}$$

La temperatura de 1200 ^{0}C, coeficientul de difuzie al carbonului este:

$$D_C = 15\ 10^{-7}\ \text{cm} / \text{s} \tag{37}$$

Rezultă :

$$c = 0{,}92\ \% \tag{38}$$

CAPITOLUL IV
DIAGRAME DE ECHILIBRU TERMODINAMIC AL FAZELOR SISTEMELOR DE ALIAJE

IV.1. Introducere

Stările de echilibru termodinamic al sistemelor de aliaje sunt reprezentate de diagramele de echilibru al fazelor. Aceste stări sunt atinse foarte rar şi, de fapt, reprezintă stări de referinţă spre care sistemele de aliaje au tendinţa să evolueze.

Condiţiile de realizare a diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare se obţin prin răciri sau încălziri foarte lente.

IV.2. Curbe de solidificare

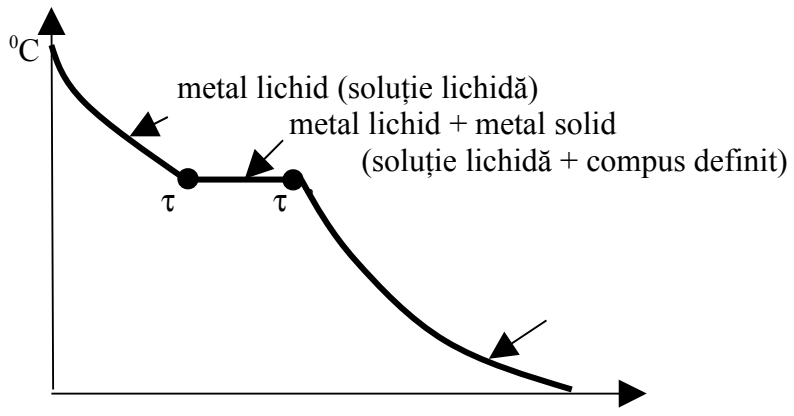
Curbele de solidificare sunt reprezentări grafice ale funcţiei:

$$T=f(\tau) \tag{39}$$

în care: T este temperatura absolută (^{0}K) sau (^{0}C);

τ - timpul.

Ele se obţin prin măsurarea continuă a temperaturii aliajelor pe parcursul răcirii (analiza termică simplă). Pentru determinarea valorilor temperaturii transformărilor de fază se utilizează şi alte metode termice (analiza termică diferenţială, dilatometrică etc.), precum şi metode de altă natură, ca de exemplu analiza microscopică optică şi electronică, analiza difractometrică cu raze X.



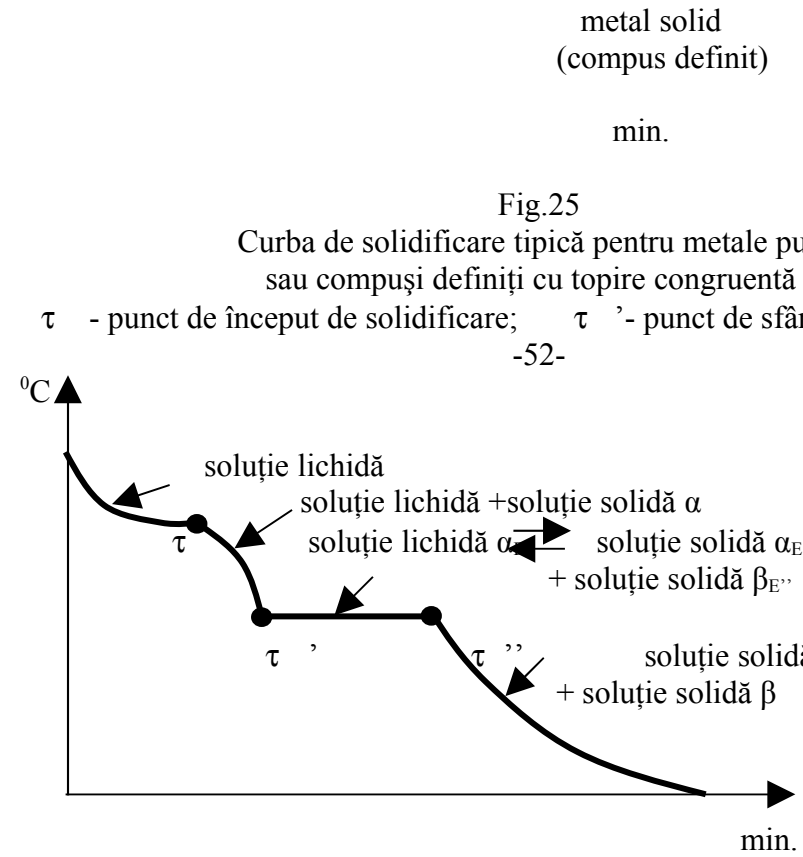


Fig.25
Curba de solidificare tipică pentru metale pure
sau compuşi definiți cu topire congruentă :
τ - punct de început de solidificare; τ '- punct de sfârşit de solidificare.

Fig.26
Curba de solidificare tipică pentru un aliaj care
suferă o transformare eutectică:
τ -punct de început de solidificare; τ '- punct de început de transformare eutectică; τ ''-punct de sfârşit de transformare eutectică şi de sfârşit de solidificare.

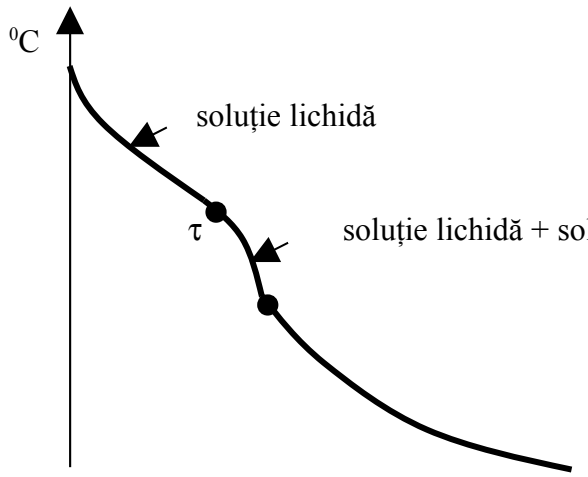
Curba de solidificare tipică pentru un metal pur sau pentru un compus definit cu topire congruentă, este dată de figura 25.

Palierul $\tau\tau$ ' reprezintă trecerea izotermă din starea lichidă în starea solidă a fazelor menționate anterior.

Curba de solidificare tipică pentru un aliaj care suferă o transformare eutectică este dată în figura 26.

Palierul $\tau\tau$ ' reprezintă transformarea izotermă eutectică.

Curba de solidificare tipică pentru un aliaj care conține numai soluție solidă şi care nu suferă transformări trifazice sau diverse transformări în stare solidă este dată în figura 27.



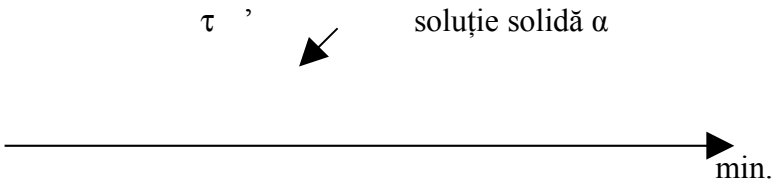


Fig.27

Curba de solidificare tipică pentru un aliaj care conține numai soluție solidă primară şi care nu suferă transformări eutectice:

τ - punct de început de solidificare; τ '- punct de sfârşit de solidificare.

IV.3. Legea fazelor

Din punct de vedere termodinamic, starea unui sistem alcătuit dintr-un număr mare de particule (atomi, molecule, etc) este descrisă de energia liberă Gibbs:

$$G = U - TS + pV \qquad (40)$$

în care: U este energia liberă;
S-entropia;
V-volumul;
p-presiunea.

Variația energiei libere într-un sistem izobar şi izoterm este:

$$dG = dU - TdS + pDV \qquad (41)$$

La solide şi lichide variația de volum este foarte mică, deci:

$$pdV \approx 0 \qquad (42)$$

Din relațiile (39) şi (40) rezultă:

$$dG \approx dU - TdS \qquad (43)$$

Relația (41) se mai poate scrie:

$$F = U - TS \qquad (44)$$

în care F este energia liberă Helmholtz.

Energia liberă Helmholtz din cazul sistemelor condensate (lichide şi solide) are rolul energiei libere Gibbs din cazul sistemelor gazoase.

Pentru sistemele condensate, neizolate, starea de echilibru este atinsă când:

$$F = \text{minim.} \qquad (45)$$

Legea fazelor este dată de relația lui Gibbs:

$$v = n + 2 - \varphi \qquad (46)$$

în care: v este varianța (numărul gradelor de libertate);

n – numărul componenților;

φ – numărul fazelor.

Pentru aliaje, unde presiunea are influență neglijabilă, se obține varianța redusă (v_r), care este dată de relația:

$$v_r = n + 1 - \varphi \qquad (47)$$

Dacă există o singură fază (n = 2, φ = 1, v_r = 2), temperatura şi concentrația pot varia între anumite limite (limitele domeniului monofazic din diagrama de echilibru termodinamic al fazelor) fără a schimba natura fazelor.

În cazul în care coexistă două faze (n = 2, φ = 2, v_r = 1), compoziția chimică a fazelor în echilibru este riguros determinată (a se vedea regula orizontalei) la orice modificare a temperaturii între anumite limite (limitele domeniului bifazic din diagrama de echilibru termodinamic al fazelor).

Când coexistă trei faze (n = 3, φ = 2, v_r = 0), numărul gradelor de libertate devine nul şi la o temperatură perfect precizată (linia orizontală din diagrama de echilibru termodinamic al fazelor) are loc transformarea trifazică:

$$\varphi\,(x) \rightleftharpoons \varphi'(x') + \varphi''(x'') \qquad (48)$$

Echilibrul acestei transformări izoterme evoluează într-un sens sau altul, după cum sistemul primeşte sau cedează căldură.

IV.4. Elementele grafice ale diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare

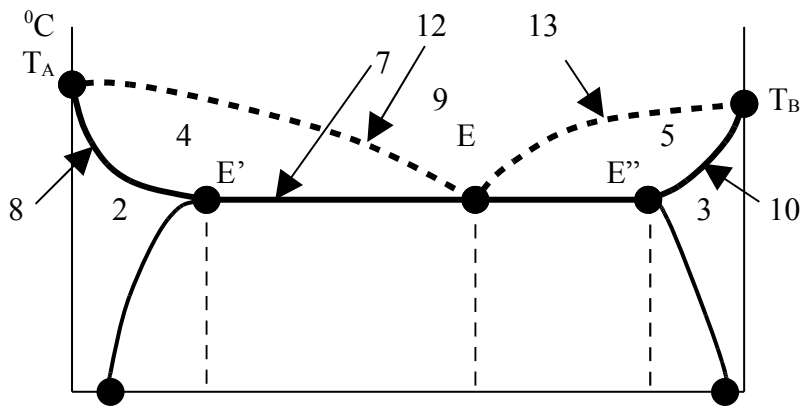
Diagramele de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare sunt reprezentări grafice ale funcției:

$$T = f(x_n) \qquad (49)$$

în care: T este temperatura;

x_n – concentrația globală a fiecărui component al sistemului de aliaje binare (n = 2).

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare este dat în figura 28.



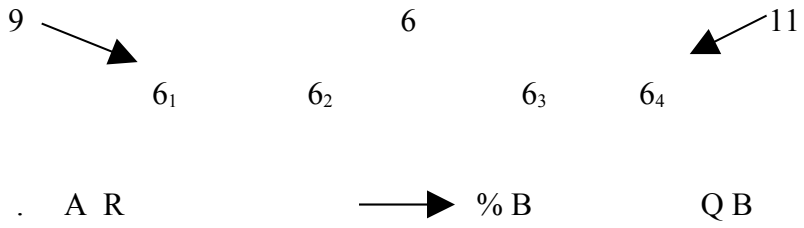


Fig.28
Diagramă schematică de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare

Axele de coordonate ale acestei diagrame sunt următoarele:

-abscisa: linia orizontală AB, care reprezintă concentrația globala (x_n) a fiecărui component al sistemului de aliaje (n = 2).în % masice sau volumice;

-ordonata: linia verticală AT_A, care reprezintă temperatura absolută (K) sau relativă (^{0}C).

De asemenea se disting următoarele linii:

-linia T_AET_B : linia lichidus, care este locul geometric al tuturor punctelor reprezentând începutul solidificării aliajelor din sistem. Deasupra liniei lichidus toate aliajele sunt în stare lichidă.;

-linia $T_AE'EE"T_B$: linia solidus, care este locul geometric al tuturor punctelor reprezentând sfârşitul solidificării aliajelor din sistem. Sub linia solidus toate aliajele sunt în stare solidă;

-liniile E'R şi E"Q: liniile solvus, de variație a solubilității în stare solidă, care sunt locurile geometrice ale tuturor punctelor reprezentând solubilitatea în stare solidă a componentului B în soluția solidă având ca metal de bază metalul A şi, respectiv, invers.

Se mai pot observa următoarele domenii:

-domeniile 1, 2 şi 3: domenii monofazice, care sunt locurile geometrice ale ale tuturor punctelor unde există o singură fază în echilibru. În domeniile monofazice solide există un singur constituent metalografic, cel al fazei respective;

-domneniile 4, 5 şi 6: domenii bifazice, care sunt locurile geometrice ale ale tuturor punctelor unde există două faze în echilibru. În domeniile bifazice solide există doi constituenți metalografici, cei ai fazelor respective;

-pseudodomeniul (linia) 7: domeniul redus la linia E'E E", care este locul geometric al punctelor unde coexistă trei faze în echilibru;

-pseudodomeniile (liniile) 8, 9, 10, 11, 12 şi 13: domeniile reduse la liniile T_AE', E'R, $T_BE"$, E"Q, T_AE, ET_B, care sunt locurile geometrice ale tuturor punctelor unde coexistă două faze în echilibru, din care una este în proporție de aproape 100 %.

Domeniul 6, fiind mărginit de un domeniu trifazic, poate fi împărțit în zonele 6_1, 6_2, 6_3 şi 6_4, care sunt locurile geometrice ale tuturor punctelor în care, deşi fazele sunt aceleaşi, constituenții metalografici diferă mai mult sau mai puțin.

În diagramele uzuale de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare, pentru domeniile reduse la simple linii, cum sunt pseudodomeniile 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 şi 13 nu se specifică fazele sau constituenții metalografici.

IV.5. Regula orizontalei şi regula segmentelor inverse

Regulile orizontalei şi a segmentelor inverse sunt ilustrate în figura 26.

Aliajul de concentraţie globală x % B este format la temperatura T din două faze: φ ‘şi φ”.

Regula orizontalei precizează că la temperatura T, aliajul de concentraţie globală x % B conţine faza φ’ de concentraţie x’% B şi faza φ”, de concentraţie x” % B. Concentraţiile x’şi x” corespund absciselor punctelor X’ şi X” de intersecţie ale orizontalei corespunzătoare temperaturii T cu limitele domeniului bifazic.

Regula segmentelor inverse precizează ca la temperatura T, aliajul de concentraţie globală x % B conţine faza φ’ de fracţie masică ($y_{\varphi'}$) dată de relaţia:

$$y_{\varphi'} = \frac{\text{masa fazei } \varphi'}{\text{masa aliajului}} = \frac{x\,x''}{x'x''} \qquad (50)$$

şi faza φ” de fracţie masică ($y_{\varphi''}$) dată de relaţia:

$$y_{\varphi''} = \frac{\text{masa fazei } \varphi''}{\text{masa aliajului}} = \frac{x\,x'}{x'x''} . \qquad (51)$$

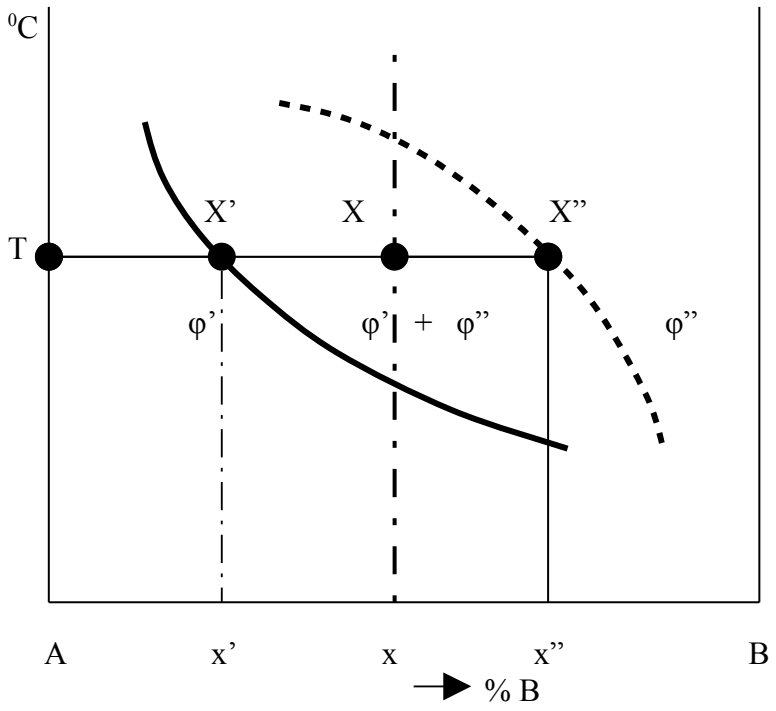


Fig.29
Ilustrarea regulilor orizontalei şi a segmentelor inverse

Dacă cele două linii din figura 29 sunt liniile lichidus şi solidus, atunci fazei solide φ' îi corespunde sgmentul X X", care atinge linia lichidus, iar fazei lichide φ" îi corespunde segmentul X X', care atinge linia solidus.

IV.6. Fenomene de segregare

Fenomenele de segregare apar în timpul solidificării materialelor metalice, deoarece viteza de difuzie în stare solidă este mult mai mică, iar realizarea echilibrului termodinamic necesită timp îndelungat.

În general, fenomenele de segregare apar sub formă de neomogenitate:

-chimică;

-structurală.

Neomogenitatea chimică poate fi:

-minoră, la nivelul grăuntelui cristalin (segregație minoră);

-majoră, la nivelul întregului corp metalic (segregație majoră).

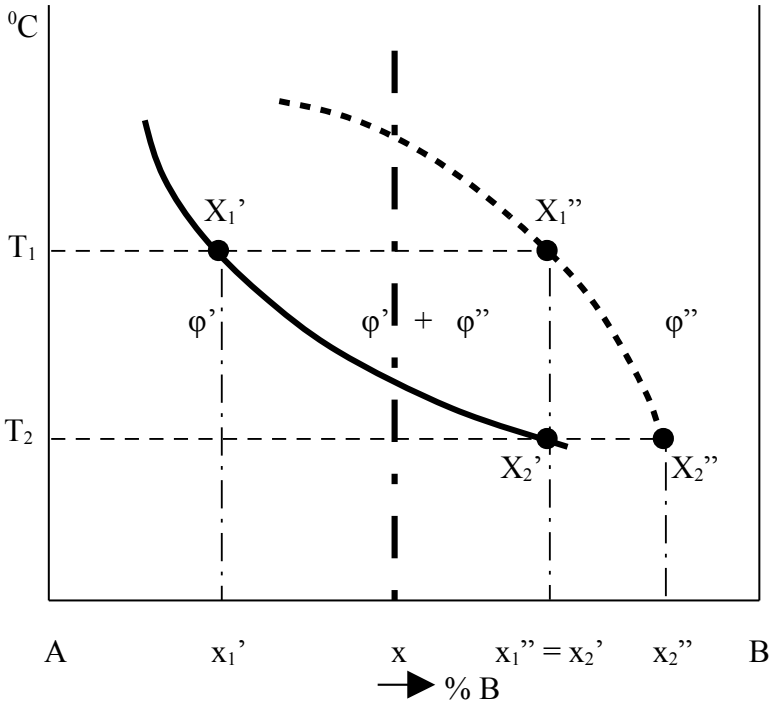


Fig.30

Ilustrarea formării segregației minore cu ajutorul regulei orizontalei

Considerăm aliajul de concentrație x % B începe să se solidifice la temperatura T_1 şi la temperatura T_2 este complet solidificat (Fig. 30).

În cazul limită, viteza de difuzie este:

-nulă în stare solidă;

-perfectă în stare lichidă.

Conform regulei orizontalei, primul germen cristalin care apare în soluția lichidă are următoarea compoziție chimică:

$$\begin{cases} A = (100 - x_1') \%; \\ B = x_1' \%. \end{cases} \quad (52)$$

Ultima picătură de soluție lichidă care solidifică are următoarea compoziție chimică:

$$\begin{cases} A = (100 - x_2'') \%; \\ B = x_2'' \%. \end{cases} \quad (53)$$

Pe de altă parte este evident că:

$$x_2'' > x_1' \quad (54)$$

Rezultă că în interiorul grăuntelui cristalin concentrația elementului B este mai mică (x_1') decât în zonele periferice (x_2''). Această neomogenitate chimică la nivelul grăuntelui cristalin se numeşte segregație minoră.

Existența segregației minore are un efect nefast asupra comportamentului materialelor metalice în timpul funcționării, care poate fi înlăturat printr-o încălzire la o temperatură cât mai ridicată, dar care să nu ducă în nici un fel la topire.

Segregația majoră apare la nivelul întregului corp metalic, deoarece:

-solidificarea nu este simultană;

-gradientul termic este diferit.

Segregația majoră este tot o neomogenitate a compoziției chimice, dar care se produce, în special, în timpul solidificării corpurilor metalice mari, cum sunt lingourile din oțel având masa de la 1 tonă la 300 tone şi chiar mai mult. Astfel, zonele solidificate mai târziu sunt mai bogate în elemente chimice mai uşor fuzibile.

Neomogenitatea structurală se referă la diferența de dimensiune şi de orientare a cristalelor şi se produce, în special, tot în cazul solidificării corpurilor metalice mari, cum sunt lingourile din oțel. Un astfel de ligou are trei zone cristaline mult diferite:

-zona I: zona îngustă a cristalelor echiaxiale fine, formate la contactul cu peretele lingotierei;

-zona II: zona cristalelor bazaltice (dendrite cu axa primară sensibil orientată după direcția gradientului termic);

-zona III: zona din axa lingoului, a cristalelor echiaxiale mari (dendrite cu axele primare orientate întâmplător), care au crescut într-un lichid cu temperatura aproape omogenă.

IV.7. Transformări trifazice

IV.7.1. Definirea şi clasificarea transformări trifazice

Transformările trifazice sunt acele transformări care au loc la temperatură riguros determinată şi corespund relației:

$$\varphi (x) \rightleftharpoons \varphi'(x') + \varphi'' (x'') \quad (55)$$

în care: φ (x) este faza φ de concentrație x;
φ'(x') - faza φ ' de concentrație x';
φ" (x") - faza φ" de concentrație x".

Este de menționat faptul că echilibrul acestei transformări evoluează într-un sens sau altul, după cum sistemul primeşte sau cedează căldură.

Cele mai importante transformări trifazice sunt următoarele:
-transformarea eutectică;
-transformarea peritectică;
-transformarea monotectică;
-transformarea sintectică;
-transformarea eutectoidă;
-transformarea peritectoidă;
-transformarea monotectoidă;
-transformarea sintectoidă.

Când în transformare intervine cel puțin o fază lichidă, transformarea respectivă primeşte sufixul "ică", iar în cazul în care toate fazele sunt solide, transformarea respectivă primeşte sufixul "oidă".

IV.7.2. Transformările eutectice şi eutectoide

Transformările eutectice şi eutectoide sunt exemplificate grafic în figura 31.

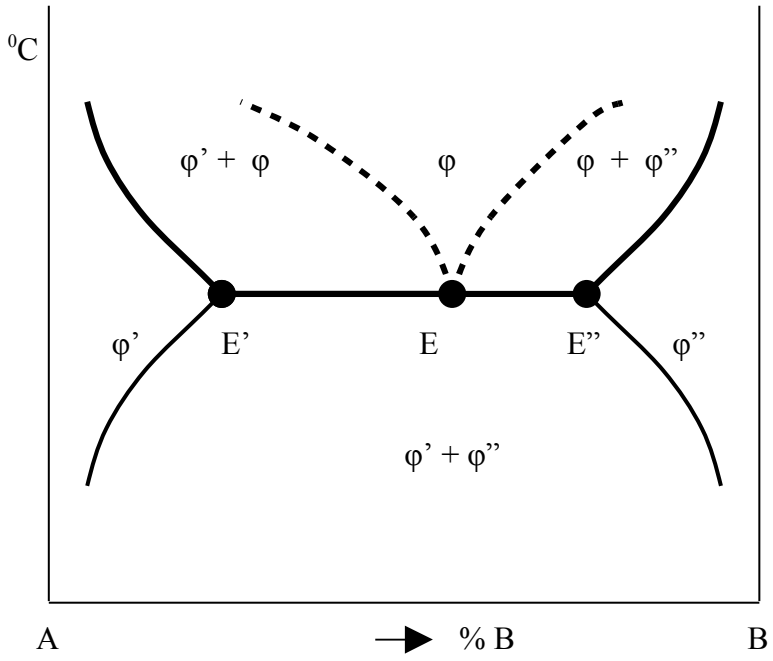


Fig.31
Transformările eutectică şi eutectoidă

Relaţia corespunzătoare acestei transformări este următoarea:

$$\varphi_E \rightleftharpoons \varphi'_{E'} + \varphi''_{E''} \qquad (56)$$

în care: φ_E este faza φ de concentraţia punctului E;
$\varphi'_{E'}$ - faza φ ‘ de concentraţia punctului E’;
$\varphi''_{E''}$ - faza φ” de concentraţia punctului E ”.

În cazul transformării eutectice, starea de agregare a fazelor este următoarea:
φ: fază lichidă
φ’: fază solidă;
φ”: fază solidă.
În cazul transformării eutectoide, starea de agregare a fazelor este următoarea:
φ: fază solidă;
φ’: fază solidă;
φ”: fază solidă.

Rezultă că eutecticii şi eutectoizii astfel obţinuţi sunt amestecuri mecanice de două faze ($\varphi'_{E'} + \varphi''_{E''}$) şi au un aspect caracteristic, având în marea majoritate a cazurilor o structură formată din lamele alternante din fazele menţionate anterior.

IV.7.3. Transformările peritectice şi peritectoide

Transformările peritectice şi peritectoide sunt exemplificate grafic în figura 32.

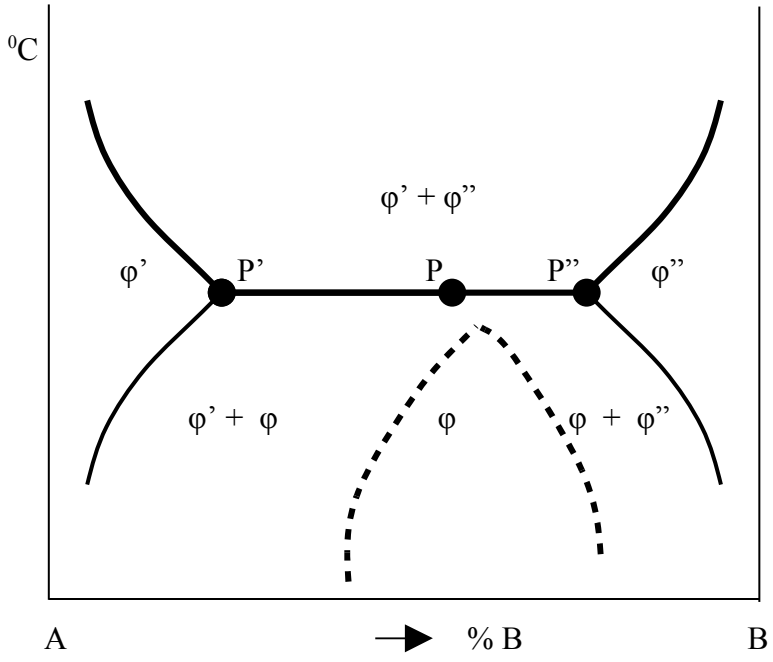


Fig.32.
Transformările peritectică şi peritectoidă

Relația corespunzătoare acestei transformări este următoarea:

$$\varphi'_{P'} + \varphi''_{P''} \rightleftharpoons \varphi_P \qquad (57)$$

în care: φ_P este faza φ de concentrația punctului P;
$\varphi'_{P'}$ - faza φ' de concentrația punctului P';
$\varphi''_{P''}$ - faza φ'' de concentrația punctului P''.

În cazul transformării peritectice, starea de agregare a fazelor este următoarea:
φ: fază solidă;
φ': fază solidă;
φ'': fază lichidă.
În cazul transformării eutectoide, starea de agregare a fazelor este următoarea:
φ: fază solidă;
φ': fază solidă;
φ'': fază solidă.

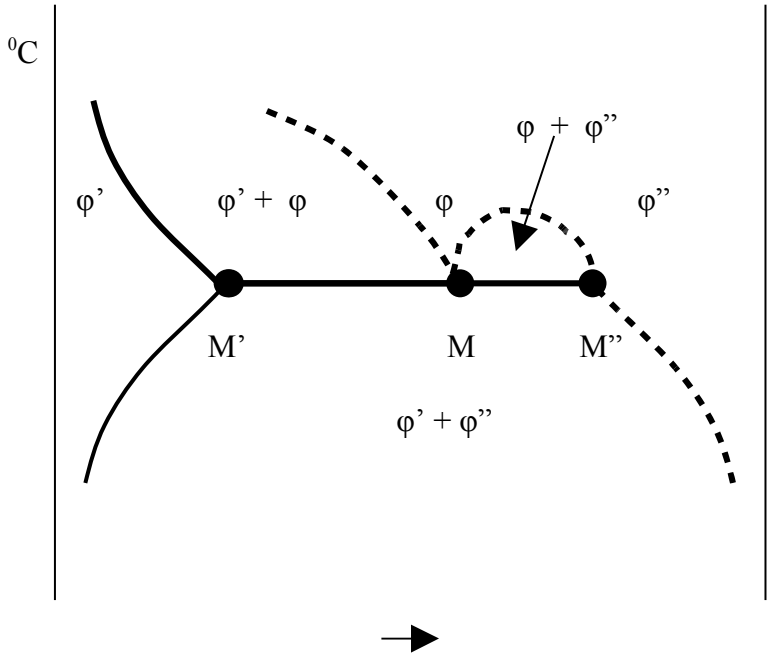
IV.7.4. Transformările monotectice şi monotectoide

Transformările monotectice şi monotectoide sunt exemplificate grafic în figura 33.

Relația corespunzătoare acestei transformări este următoarea:

$$\varphi_M \rightleftharpoons \varphi'_{M'} + \varphi''_{M''} \qquad (58)$$

în care: φ_M este faza φ de concentrația punctului M;
$\varphi'_{M'}$ - faza φ ' de concentrația punctului M';
$\varphi''_{M''}$ - faza φ'' de concentrația punctului M ''.



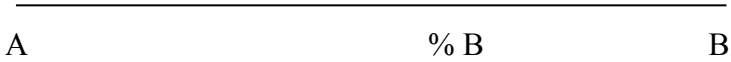


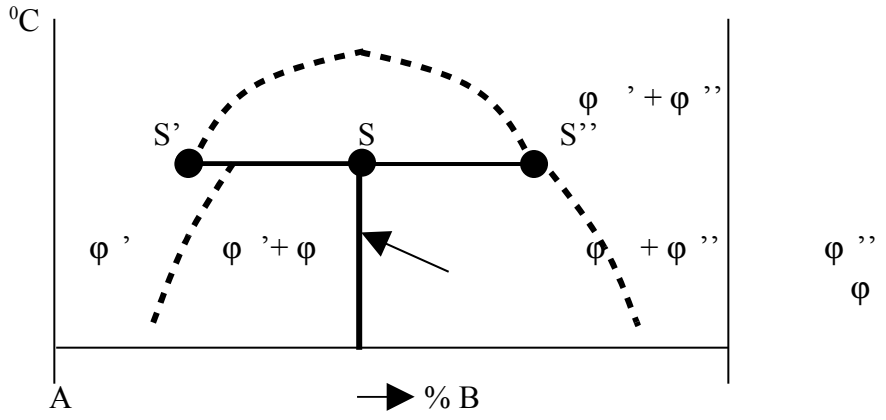
Fig.33
Transformările monotectică şi monotectoidă

În cazul transformării monotectice, starea de agregare a fazelor este următoarea:
φ: fază lichidă;
φ': fază solidă;
φ": fază lichidă.
În cazul transformării monotectoide, starea de agregare a fazelor este următoarea:
φ: fază solidă;
φ': fază solidă;
φ": fază solidă.

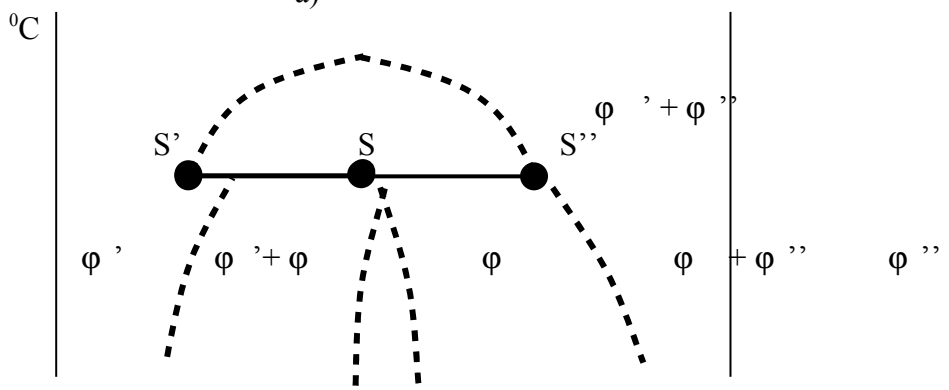
IV.7.5.Transformările sintectice şi sintectoide

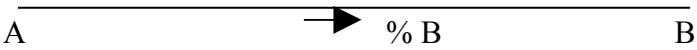
Transformările sintectice şi sintectoide sunt exemplificate grafic în figura 34.
Relația corespunzătoare acestei transformări este următoarea:

$$\varphi'_{S'} + \varphi''_{S''} \rightleftharpoons \varphi_S \qquad (59)$$



a)





b)

Fig.34
Transformările sintectică şi sintectoidă:
a)cu compus definit; b) cu fază intermediară.

φ: fază solidă (compus definit sau fază intermediară);
φ': fază lichidă;
φ": fază lichidă.
În cazul transformării sintectoide, starea de agregare a fazelor este următoarea:
φ: fază solidă;
φ': fază solidă;
φ": fază solidă.

IV.8. Clasificarea diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare

O posibilă clasificare a diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare este următoarea:

1) după miscibilitatea componenților în stare lichidă:
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă;
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă;
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă;

2) după miscibilitatea componenților în stare solidă:
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare solidă;
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare solidă;
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare solidă;

3) după prezența compuşilor definiți:
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără compuşi definiți;
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu compuşi definiți;

4) după prezența fazelor intermediare:
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără faze intermediare;
- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu faze intermediare;

5) după prezența transformărilor alotropice:

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără transformări alotropice;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformări alotropice;

6) după prezența transformărilor trifazice la trecerea din starea lichidă în stare solidă:

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără transformări trifazice la trecerea din starea lichidă în starea solidă;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare eutectică;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare peritectică;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare monotectică;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare sintectică;

7) după prezența transformărilor trifazice în stare solidă:

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără transformări trifazice în stare solidă;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare eutectoidă;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare peritectoidă;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare monotectoidă;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare sintectectoidă;

8) după prezența altor transformărilor în stare solidă:

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare dezordine - ordine;

- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare spinoidală.

IV.9. Simbolizarea tipurilor diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare

Pe baza clasificării prezentate în subcapitolul precedent, se poate realiza o simbolizare alfanumerică a tipurilor diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare, care cuprinde opt poziții separate prin cratimă.

Cele opt poziții ale simbolizării tipurilor diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare sunt următoarele:

-poziția 1: indică miscibilitatea componenților în stare lichidă şi anume:

n- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă;

p- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă;

t- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă;

-poziția 2: indică miscibilitatea componenților în stare solidă şi anume:

n- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare solidă;

p- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare solidă;

t- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare solidă;

-poziția 3: indică prezența compuşilor definiți şi anume:

w- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără compuşi definiți;

c- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu compuşi definiți;

-poziția 4: indică prezența fazelor intermediare şi anume:

w- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără faze intermediare;

f- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu faze intermediare;

-poziția 5: indică prezența transformărilor alotropice şi anume:

w- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără transformări alotropice;

a- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformări alotropice;

-poziția 6: indică prezența transformărilor trifazice la trecerea din starea lichidă în stare solidă şi anume:

w - diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără transformări trifazice la trecerea din starea lichidă în starea solidă;

e -diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare eutectică;

π - diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare peritectică;

m - diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare monotectică;

s- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare sintectică;

-poziția 7: indică prezența transformărilor trifazice în stare solidă şi anume:

W - diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără transformări trifazice în stare solidă;

E - diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare eutectoidă;

Π - diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare peritectoidă;

M - diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare monotectoidă;

S- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare sintectectoidă;

-poziția 8: indică prezența altor transformărilor în stare solidă şi anume:

D- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare fără transformări dezordine – ordine sau cu transformare spinoidală;

D- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare dezordine - ordine;

Σ- diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu transformare spinoidală.

Dacă la pozițiile 6,7 sau 8 sunt litere diferite, acestea sunt separate prin virgulă. De asemenea, prezența mai multor elemente identice este menționată printr-o cifră arabă corespunzătoare, plasată în fața literei elementului respectiv. De exemplu, o diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice are simbolizarea următoare: t-t-w-f-w-2e-w-w.

IV.10. Exemple de tipuri de diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare

IV.10.1. Convenții de reprezentare a diagramelor de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare

La denumirea tipului de diagramă se adăugă între paranteze simbolizarea alfanumerică.

Fiecare tip de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare este prezentat grafic de două ori, o dată numai cu menționarea fazelor, iar a doua oară numai cu menționarea constituenților metalografici.

Sub fiecare tip de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare este plasată diagrama izotermă de constituție (faze sau constituenți metalografici) la o temperatură puțin inferioară (T-ε) temperaturii de transformare trifazice celei mai apropiate de temperatura ambiantă sau, în lipsa unei transformări trifazice, la o temperatură puțin inferioară (T-ε) temperaturii de de început de solidificare. Diagramele de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare care prezintă două transformări eutectice pot fi considerate ca alăturarea a tot atâtea diagrame simple, iar diagramele izoterme de constituție (faze sau constituenți metalografici) sunt construite la o temperatură puțin inferioară (T-ε) fiecărei temperaturi de transformare eutectică.

De asemenea, fiecare tip de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare este însoțit de o fişă de caracterizare care cuprinde denumirea, simbolizarea alfanumerică şi principalele transformări de fază.

Fazele sunt notate prescurtat şi încep cu literă mică, iar constituenții metalografici cu literă mare.

De exemplu:

mA**:** faza formată de componentul A;

MA**:** constituentul metalografic format de componentul A;

ssα**:** faza formată de soluția solidă α;

ssα_I**:** faza formată de soluția solidă primară α;

ssα_{II}**:** faza formată de soluția solidă secundară α;

$ss\alpha_{III}$**:** faza formată de soluția solidă terțiară α;
$ss\alpha_{peică}$**:** faza formată de soluția solidă α proeutectică;
$ss\alpha_{eică}$**:** faza formată de soluția solidă α eutectică;
$ss\alpha_{peidă}$**:** faza formată de soluția solidă α proeutectoidă;
$ss\alpha_{eidă}$**:** faza formată de soluția solidă α eutectoidă;
$ss\alpha_{E}$**:** faza formată de soluția solidă α cu concentrația punctului E;
ssαi**:** faza formată de soluția solidă izomorfă α;
$ss\alpha i_d$**:** faza formată de soluția solidă izomorfă α dezordonată;

$ss\alpha i_o$**:** faza formată de soluția solidă izomorfă α ordonată;
Ssα**:** constituentul metalografic format de soluția solidă α;
$Ss\alpha_I$**:** constituentul metalografic format de soluția solidă primară α;
$Ss\alpha_{II}$**:** constituentul metalografic format de soluția solidă secundară α;
$Ss\alpha_{III}$**:** constituentul metalografic format de soluția solidă terțiară α;
Ssi**:** constituentul metalografic format de soluția solidă izomorfă α;
$Ss\alpha_{peică}$ **:** constituentul metalografic format de soluția solidă α proeutectică;
fi: faza formată de faza intermediară;
$fi_{I:}$ faza formată de faza intermediară primară;
$fi_{II:}$ faza formată de faza intermediară secundară;
$fi_{III:}$ faza formată de faza intermediară terțiară;
$fi_{peică}$**:** faza formată de faza intermediară proeutectică;
$fi_{eică}$**:** faza formată de faza intermediară eutectică;
$fi_{peidă}$**:** faza formată de faza intermediară proeutectoidă;
$fi_{eidă}$**:** faza formată de faza intermediară eutectoidă;
$fi_{II}\alpha$ **:** faza formată de faza intermediară secundară provenită din soluția solidă α;
$fi_{II}\beta$ **:** faza formată de faza intermediară secundară provenită din soluția solidă β;
Fi**:** constituentul metalografic format de faza intermediară;
Fi_I**:** constituentul metalografic format de faza intermediară primară;
Fi_{II}**:** constituentul metalografic format de faza intermediară secundară;
Fi_{II}**:** constituentul metalografic format de faza intermediară secundară;
Fi_{III}**:** constituentul metalografic format de faza intermediară terțiară;
$Fi_{II}\alpha$**:** constituentul metalografic format de faza intermediară secundară provenită din soluția solidă α;
$Fi_{II}\beta$**:** constituentul metalografic format de faza intermediară secundară provenită din soluția solidă β;
cd**:** faza formată de compusul definit;
cd_I**:** faza formată de compusul definit primar;
cd_{II}**:** faza formată de compusul definit secundar;
cd_{III}**:** faza formată de compusul definit terțiar;
$cd_{II}\alpha$ **:** faza formată de compusul definit secundar provenit din soluția solidă α;
$cd_{II}\beta$ **:** faza formată de compusul definit secundar provenit din soluția solidă β;
Cd**:** constituentul metalografic format de compusul definit;
Cd_I**:** constituentul metalografic format de compusul definit primar;
Cd_{II}**:** constituentul metalografic format de compusul definit secundar;
Cd_{III}**:** constituentul metalografic format de compusul definit terțiar;
$Cd_{II}\alpha$**:** constituentul metalografic format de compusul definit secundar provenit din soluția solidă α;

$Cd_{II}\beta$**:** constituentul metalografic format de compusul definit secundar provenit din soluția solidă β;
Eic**:** eutectic;
Eic_1**:** eutectic cu numărul de ordine 1;
Eic_2**:** eutectic cu numărul de ordine 2;

Eid**:** eutectoid;
Eid_1**:** eutectoid cu numărul de ordine 1;
Eid_2**:** eutectoid cu numărul de ordine 2;
T_A**:** temperatura de solidificare a componentului A;
l: faza lichidă;
sl**:** faza soluție lichidă;
sl_1**:** faza soluție lichidă cu numărul de ordine 1;
sl_{1E}**:** faza soluție lichidă cu numărul de ordine 1, cu concentrația punctului E.
$sl_{1E'}$**:** faza soluție lichidă cu numărul de ordine 1, cu concentrația punctului E';
$sl_{1E''}$**:** faza soluție lichidă cu numărul de ordine 1, cu concentrația punctului E";
În prezenta lucrare, distincția între o soluție solidă primară, una secundară sau una terțiară ($ss\alpha_I$, $ss\alpha_{II}$ sau $ss\alpha_{III}$), între o fază intermediară primară , una secundară sau una terțiară (fi_I , fi_{II} sau fi_{III}) precum şi între un compus definit primar, unul secundar sau unul terțiar (cd_I, cd_{II} sau cd_{III}) este pur formală, indicând numai proveniența diferită a fazelor respective. Aceeaşi observație este valabilă şi în cazul constituenților metalografici.

IV.10.2. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă (n-n-w-w-w-w-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă este dat în figurile 35 (faze) şi 36 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă	
Simbol	Descriere
n	cu miscibilitate nulă în stare lichidă
n	cu miscibilitate nulă în stare solidă
w	
w	

w	
w	
w	
w	

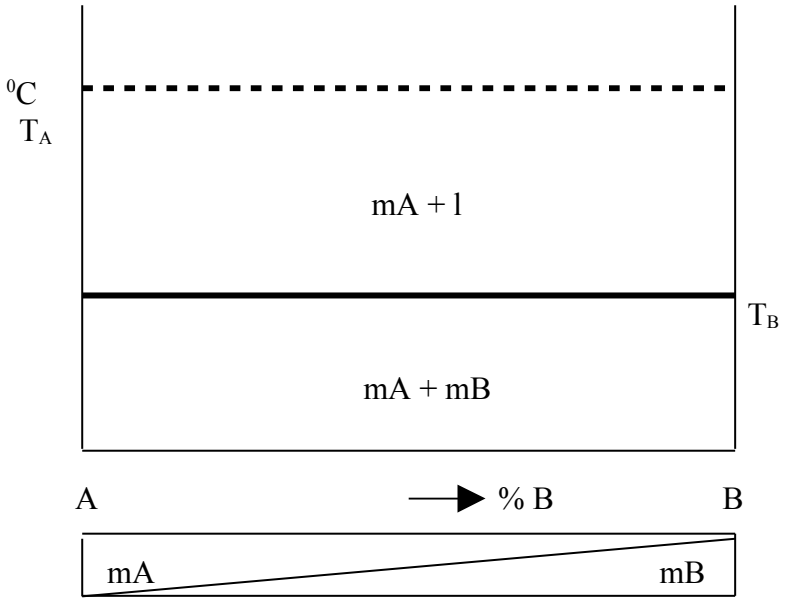


Fig.35
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă
(faze)
(n-n-w-w-w-w-w-w)

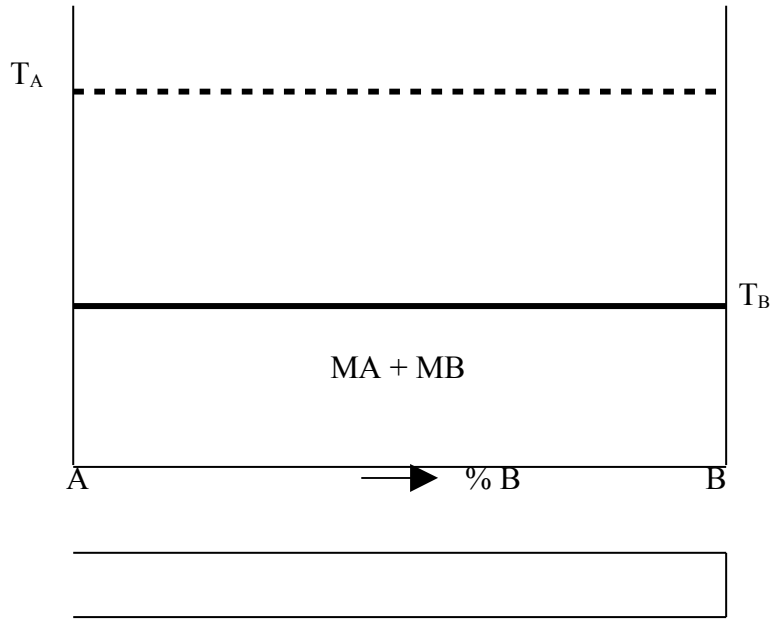


Fig.36
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă
(constituenți metalografici)
(n-n-w-w-w-w-w-w)

IV.10.3. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă şi cu transformare alotropică (n-n-w-w-a-w-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă şi cu transformare alotropică (n-n-w-w-a-w-w-w) este dat în figurile 37 (faze) şi 38 (constituenți metalografici).

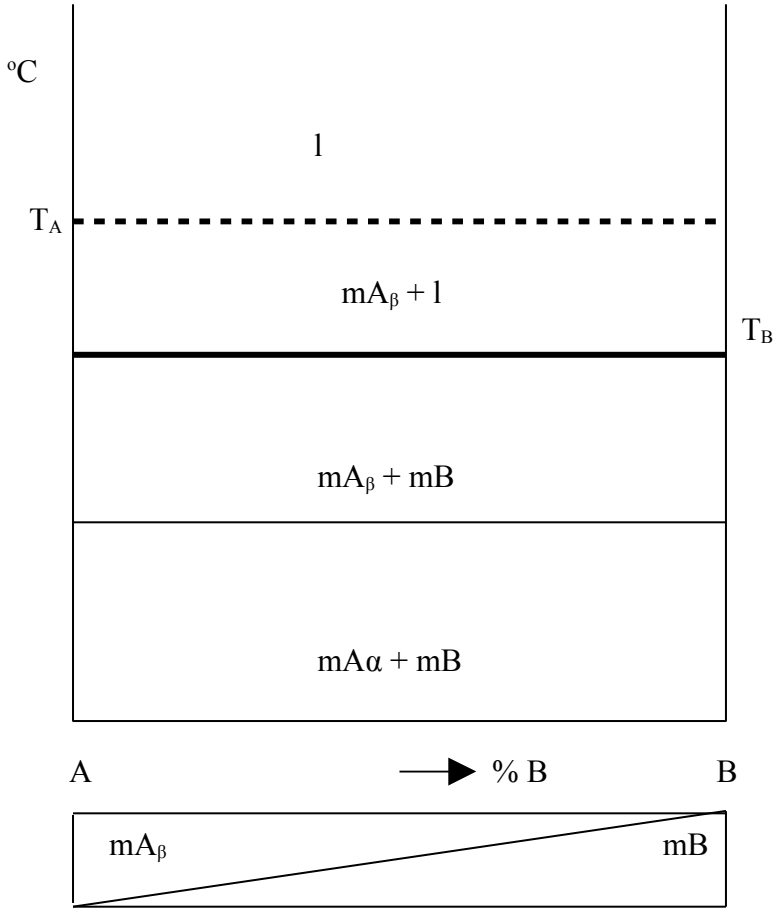


Fig.37.
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare

cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă
şi cu transformare alotropică
(faze)
(n-n-w-w-a-w-w-w)

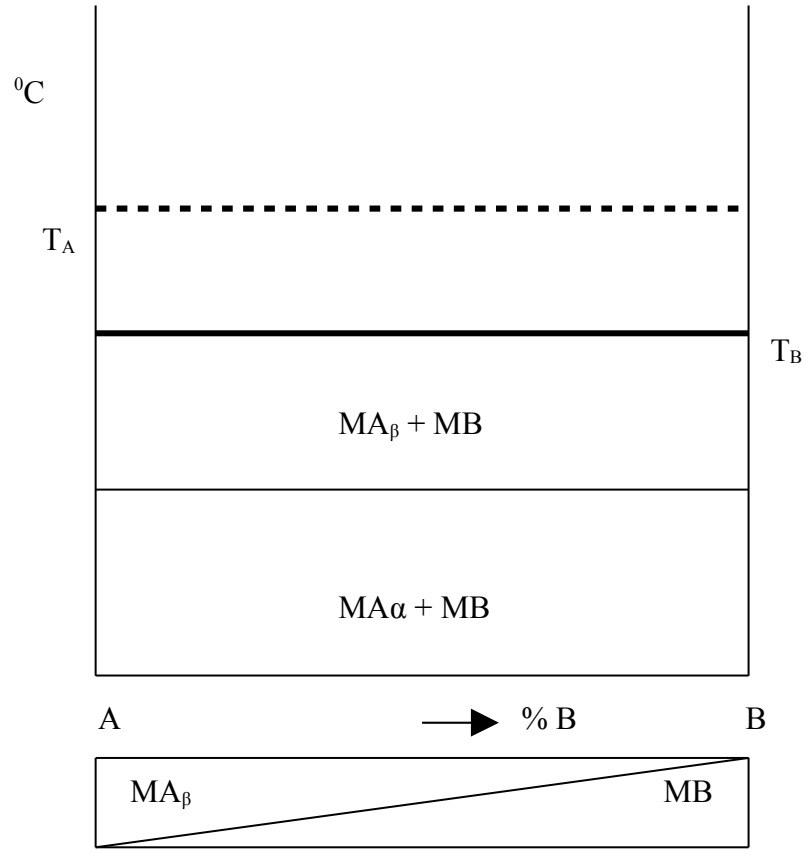


Fig.38.
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă
şi cu transformare alotropică
(constituenți metalografici)
(n-n-w-w-a-w-w-w)

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate nulă în stare lichidă şi solidă şi cu transformare alotropică	
Simbol	Descriere

n	cu miscibilitate nulă în stare lichidă
n	cu miscibilitate nulă în stare solidă
w	
w	
a	cu transformare alotropică
w	
w	
w	

IV.10.4. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică şi monotectică (p-n-w-w-w-e,m-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică şi monotectică (p-n-w-w-w-e,m-w-w) este dat în figurile 39(faze) şi 40 (constituenți metalografici).

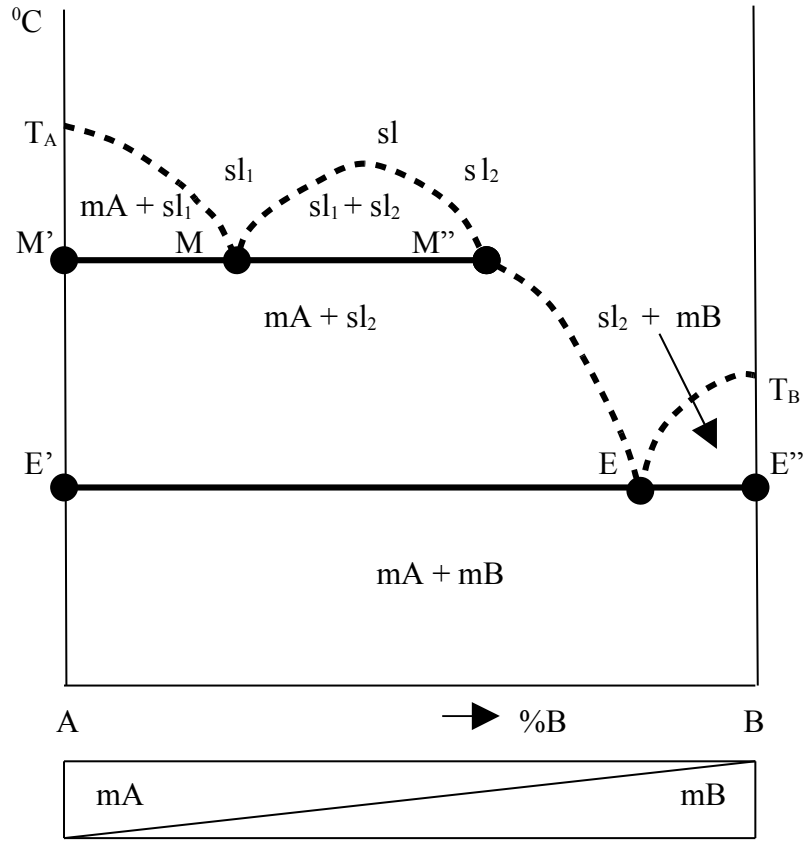


Fig.39.
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate parţială în stare lichidă,
cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu transformare eutectică şi monotectică
(p-n-w-w-w-e,m-w-w)
(faze)

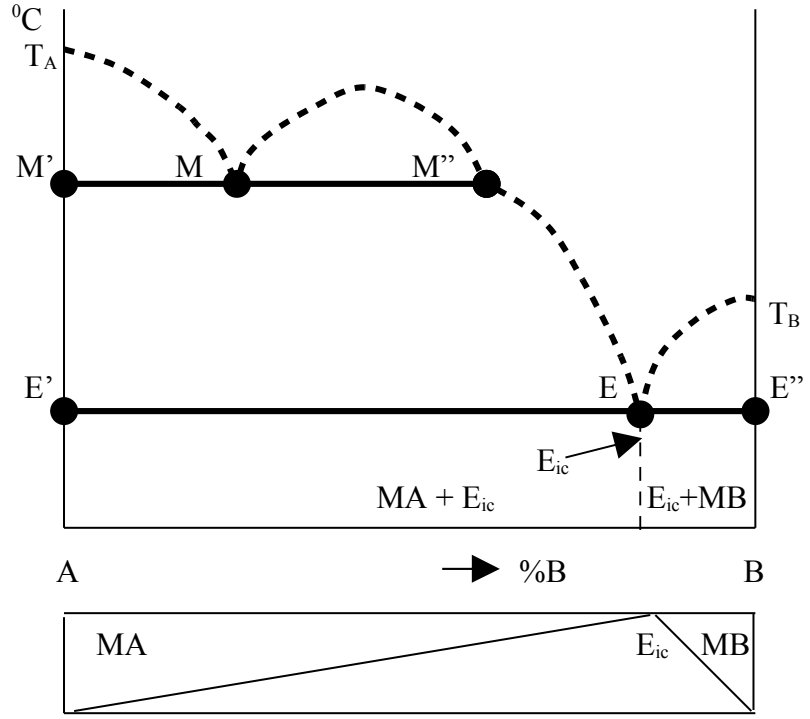
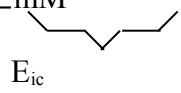


Fig.40.
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate parţială în stare lichidă,
cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu transformare eutectică şi monotectică
(p-n-w-w-w-e,m-w-w)
(constituenţi metalografici)

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică şi monotectică	
Simbol	Descriere
p	cu miscibilitate parţială în stare lichidă
n	cu miscibilitate nulă în stare solidă
w	
w	
w	

e	sl_{2E} $mA + mM$  E_{ic}
m	sl_{1M} $mA + sl_{2M"}$
w	
w	

IV.10.5. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică (p-n-c-w-w-2e,s-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică (p-n-c-w-w-2e,s-w-w) este dat în figurile 41 (faze) şi 42 (constituenți metalografici).

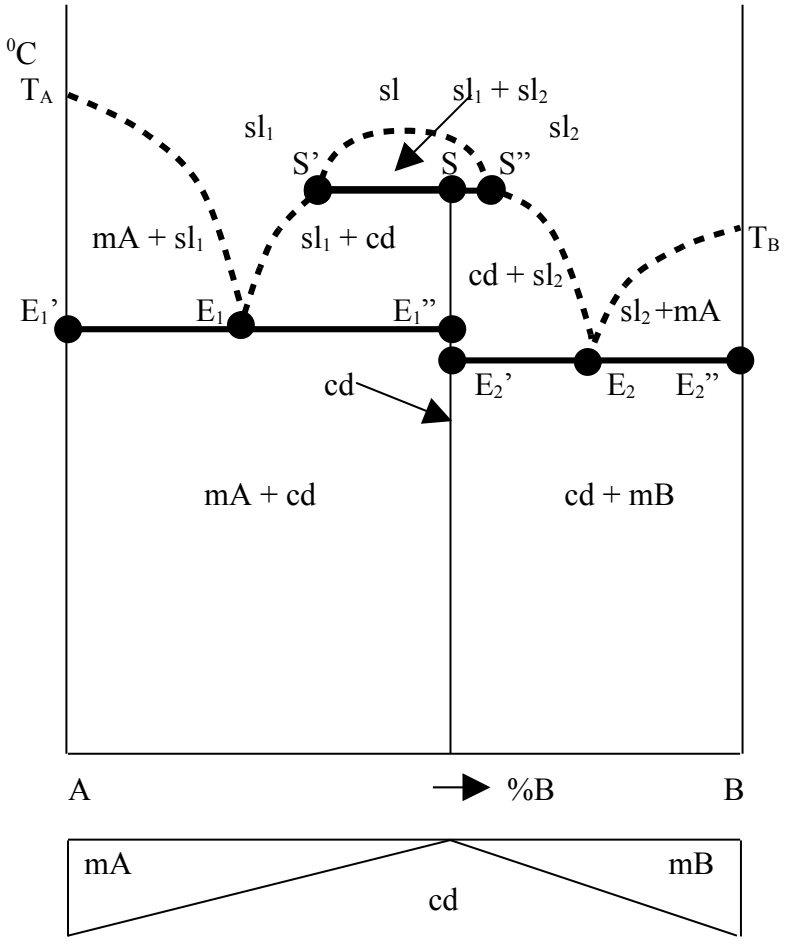


Fig.41.
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate parțială în stare lichidă,
cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu compus definit, cu două transformări eutectice
şi transformare monotectică
(p-n-c-w-w-2e,s-w-w)
(faze)

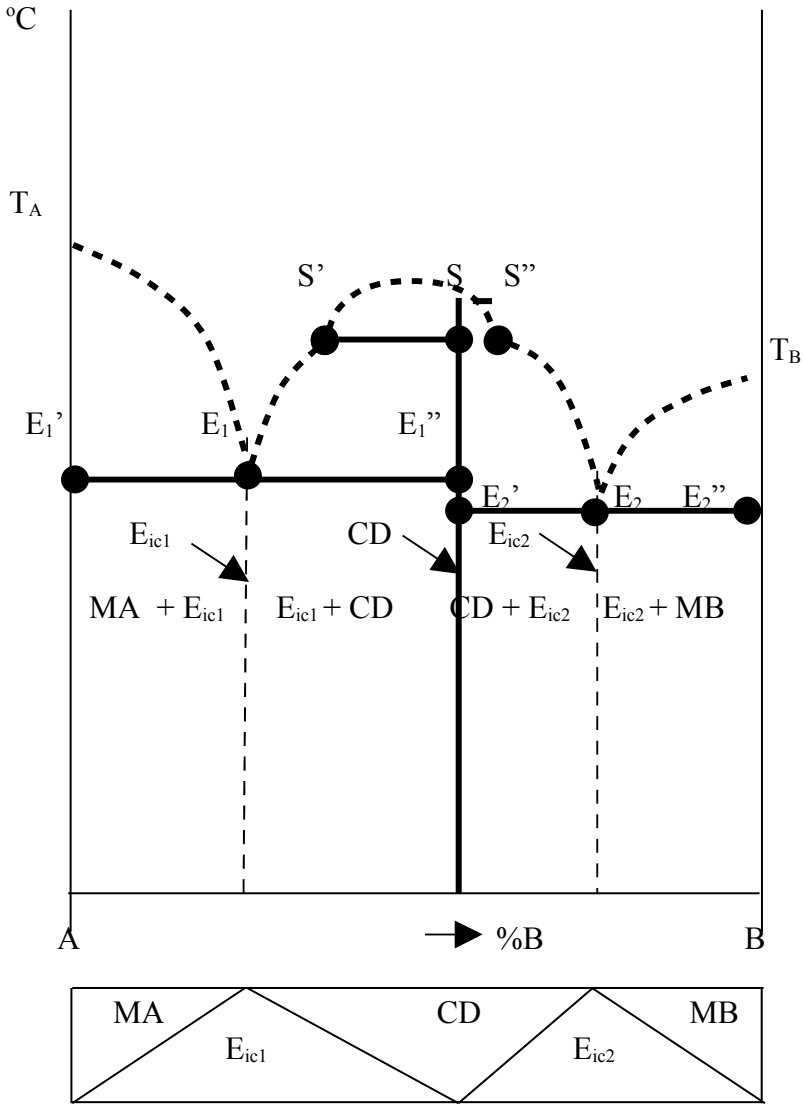


Fig.42.
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate parţială în stare lichidă,
cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu compus definit, cu două transformări eutectice
şi transformare monotectică
(p-n-c-w-w-2e,s-w-w)
(constituenţi metalografici)

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică	
Simbol	Descriere
p	cu miscibilitate parţială în stare lichidă
n	cu miscibilitate nulă în stare solidă
c	cu compus definit
w	
w	
2e	sl_{1E1} mA + cd sl_{2E2} cd + mB E_{ic1} E_{ic2}
s	$sl_{1S'} + sl_{2S''}$ cd
w	
w	

IV.10.6. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectică şi monotectică (p-p-w-w-w-e,m-w-w)

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parţială în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectică şi monotectică	
Simbol	Descriere
p	cu miscibilitate parţială în stare lichidă
p	cu miscibilitate parţială în stare solidă
w	
w	
w	

e	sl_{2E} $ss\alpha_{IE'} + ss\beta_{IE''}$ E_{ic}
m	sl_{1M} $ss\alpha_{M'} + sl_{2M''}$
w	
w	

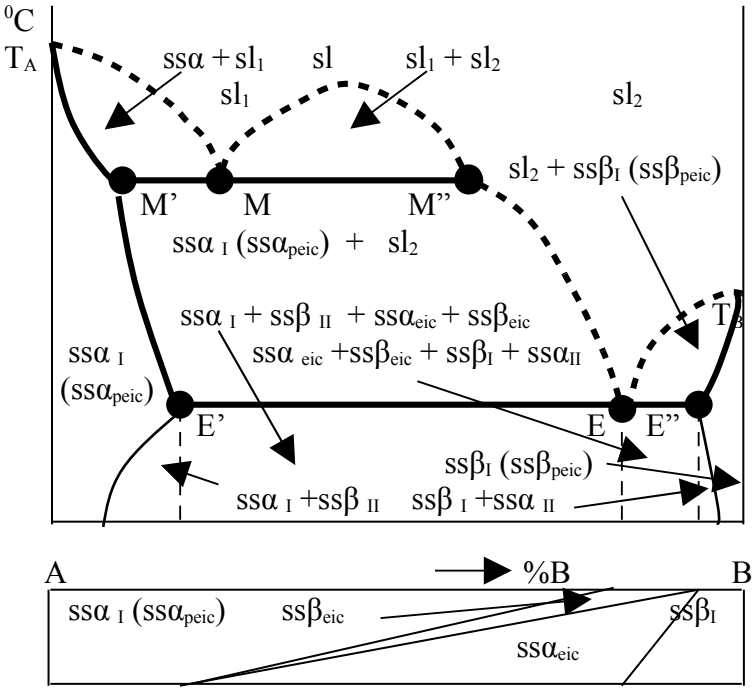
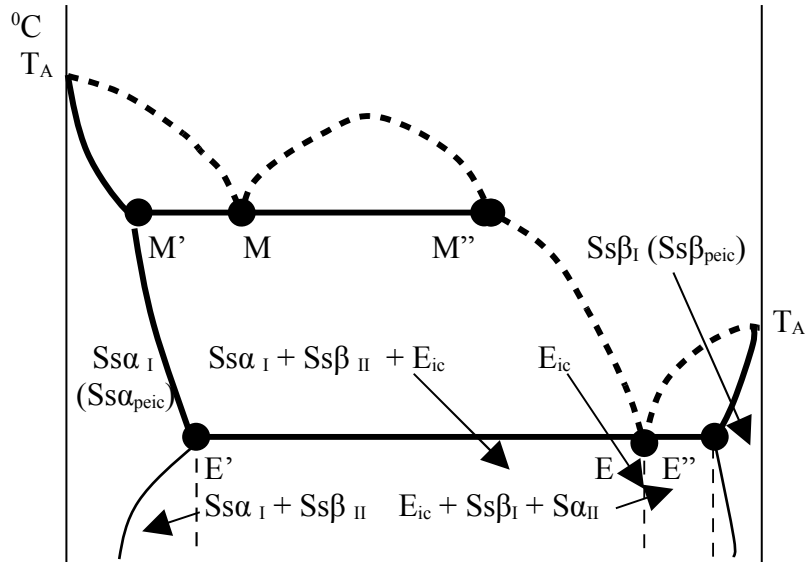


Fig.43
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate parţială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu transformare eutectică şi monotectică (p-n-w-w-w-e,m-w-w) (faze)



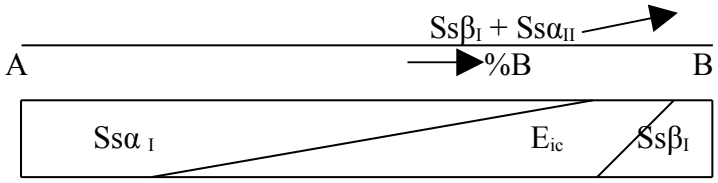


Fig.44

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică şi monotectică (p-n-w-w-w-e,m-w-w)
(constituenți metalografici)

IV.10.7. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică (p-p-w-f-w-2e,s-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică (p-p-w-f-w-2e,s-w-w) este dat în figurile 45 (faze) şi 46 (constituenți metalografici).

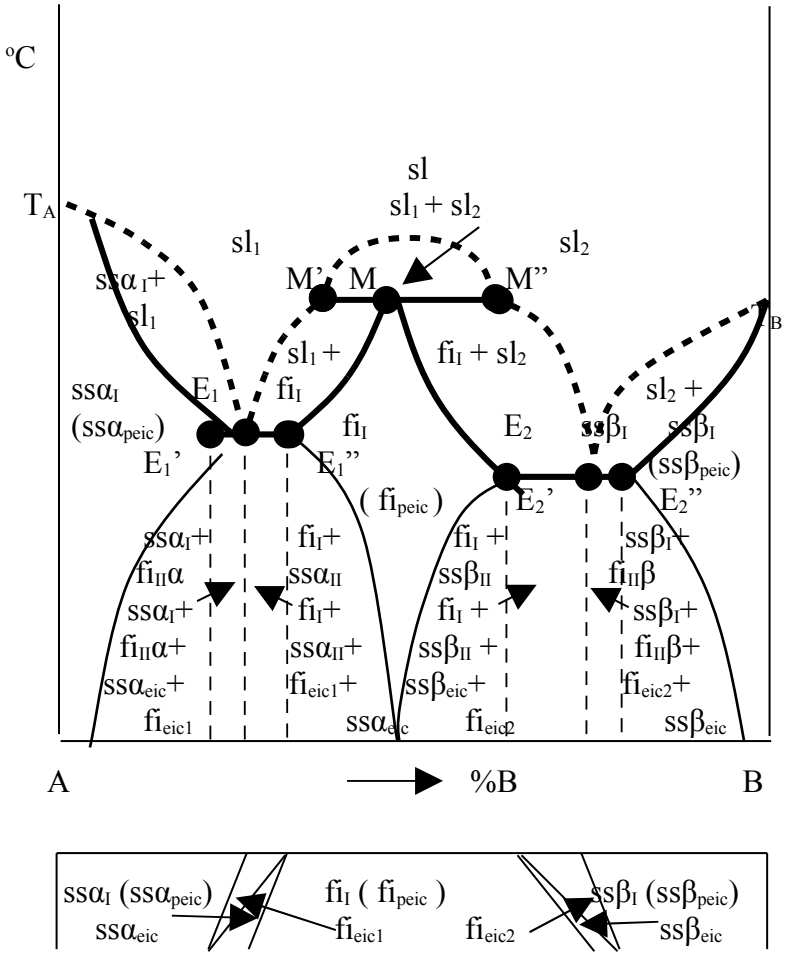


Fig.45
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate parțială în stare lichidă şi solidă,
cu fază intermediară, cu două transformări eutectice
şi transformare sintectică
(p-p-w-f-w-2e,s-w-w)
(faze)

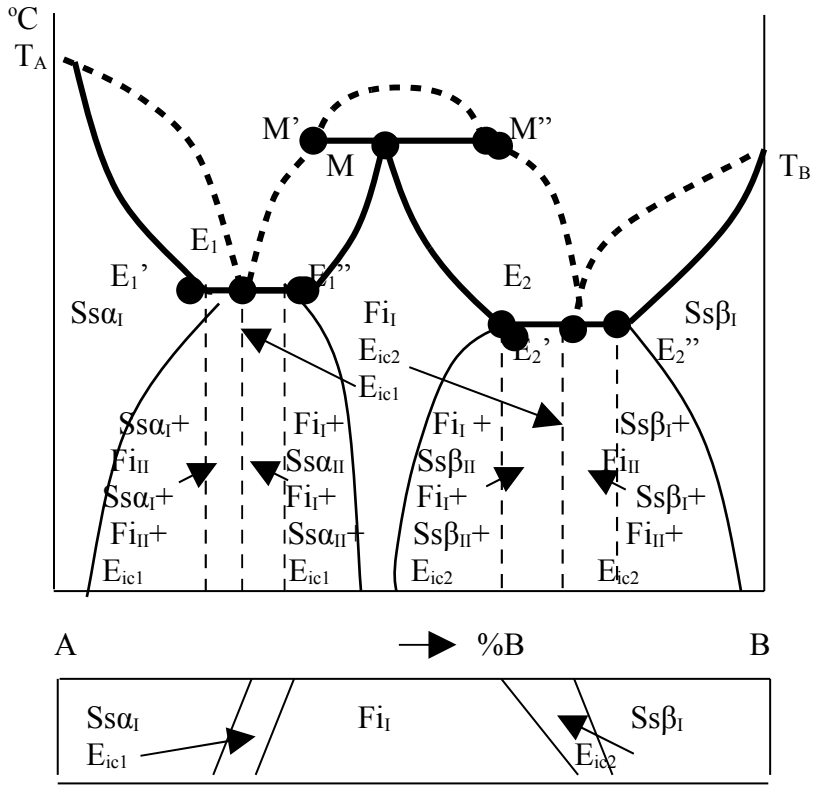


Fig.46
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate parțială în stare lichidă şi solidă,
cu fază intermediară, cu două transformări eutectice
şi transformare sintectică
(p-p-w-f-w-2e,s-w-w)
(constituenți metalografici)

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate parțială în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice şi transformare sintectică	
Simbol	Descriere
p	cu miscibilitate parțială în stare lichidă

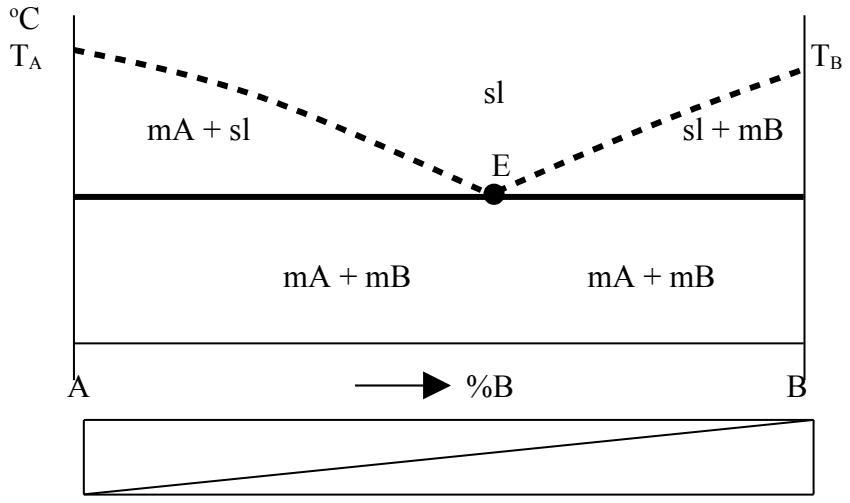
p	cu miscibilitate parțială în stare solidă
w	
f	cu fază intermediară
w	
2e s	sl_{1E1} $ss\alpha_{E1'}$ + $fi_{IE1''}$ sl_{2E2} $fi_{IE2'}$ + $ss\beta_{IE2''}$ E_{ic1} E_{ic2} $sl_{1S'} + sl_{2S''}$ fi_S
w	
w	

IV.10.8. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică (t-n-w-w-w-e-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică (t-n-w-w-w-e-w-w) este dat în figurile 47 (faze) şi 48 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu transformare eutectică	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
n	cu miscibilitate nulă în stare solidă
w	
w	
w	
e	sl_E mA + mB E_{ic}
w	
w	



mA mB

Fig.47
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu transformare eutectică
(t-n-w-w-w-e-w-w)
(faze)

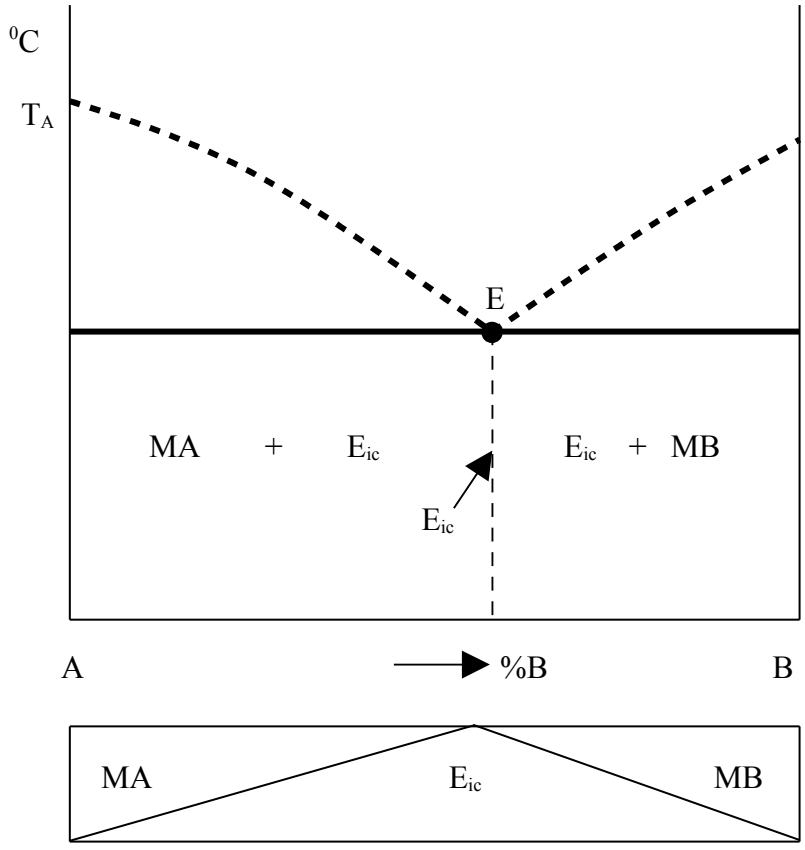


Fig.48
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu transformare eutectică
(t-n-w-w-w-e-w-w)
(constituenți metalografici):

IV.10.9. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu transformare eutectică (t-p-w-w-w-e-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu transformare eutectică (t-p-w-w-w-e-w-w) este dat în figurile 49 (faze) şi 50 (constituenți metalografici).

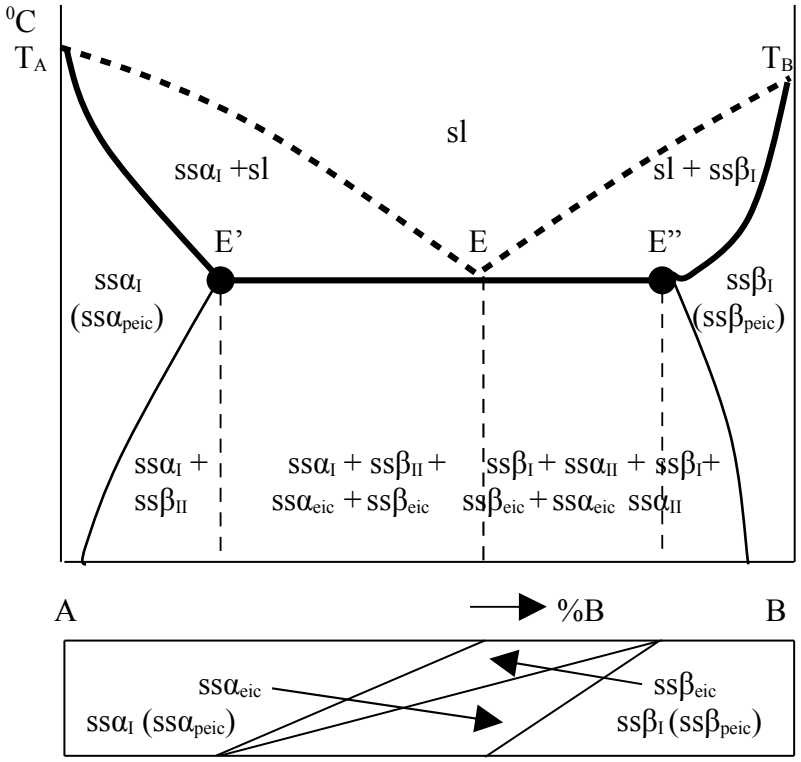


Fig.49.
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate parțială în stare solidă,
cu transformare eutectică
(t-p-w-w-w-e-w-w)
(faze)

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu transformare eutectică	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă

p	cu miscibilitate parţială în stare solidă
w	
w	
w	
e	$sl_E \rightleftharpoons ss\alpha_{IE''} + ss\beta_{IE''}$ E_{ic}
w	
w	

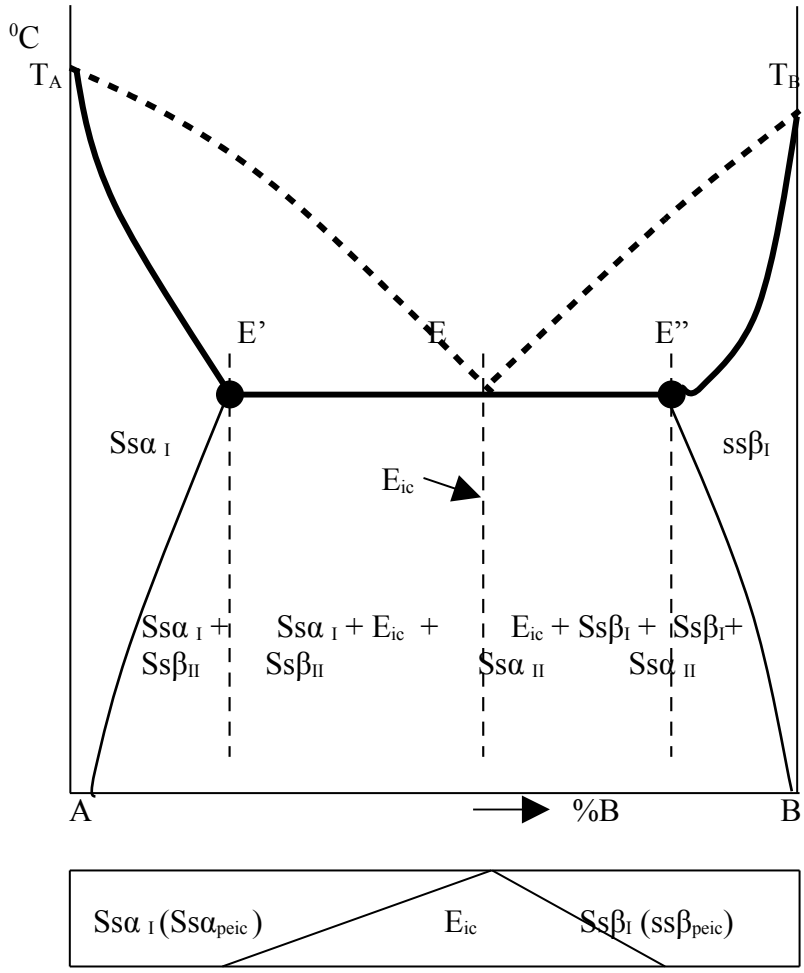


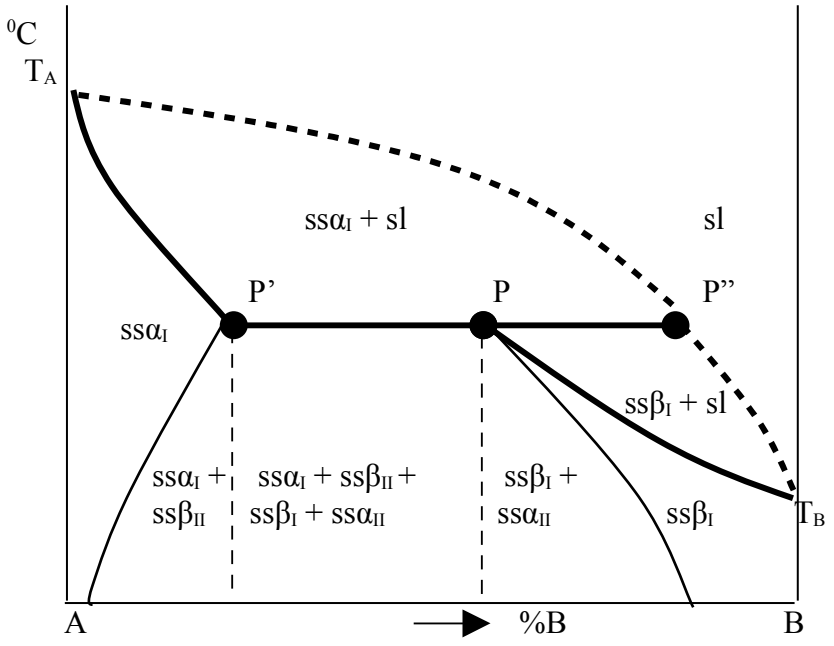
Fig.50
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate parţială în stare solidă,
cu transformare eutectică
(t-p-w-w-w-e-w-w)
(constituenţi metalografici)

IV.10.10. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu transformare peritectică (t-p-w-w-w-π-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu transformare peritectică (t-p-w-w-w- π –w-w) este dat în figurile 51 (faze) şi 52 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu transformare peritectică	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
p	cu miscibilitate parțială în stare solidă
w	
w	
w	
π	$ss\alpha_{IP'} + sl_{P''} \rightleftarrows ss\beta_{IP}$
w	
w	



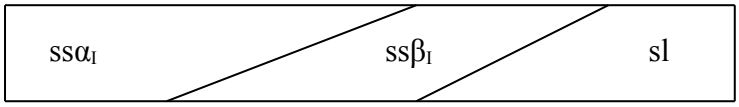
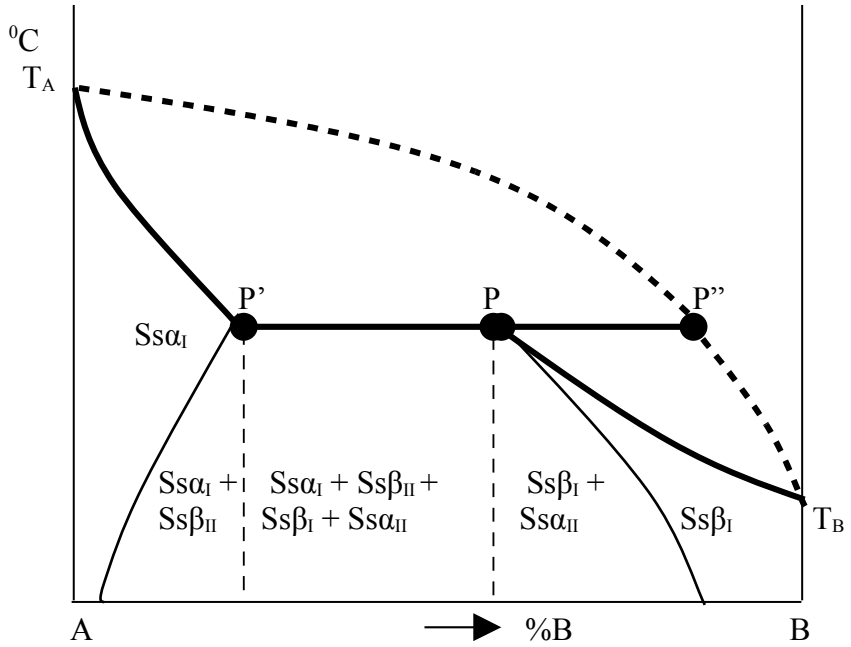


Fig.51
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate parțială în stare solidă,
cu transformare peritectică
(t-p-w-w-w- π –w-w)
(faze)
-85-



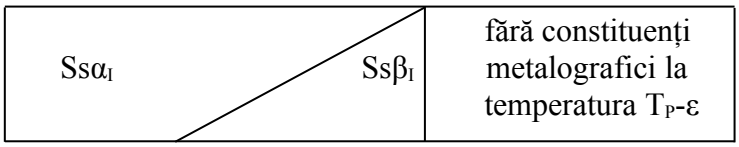


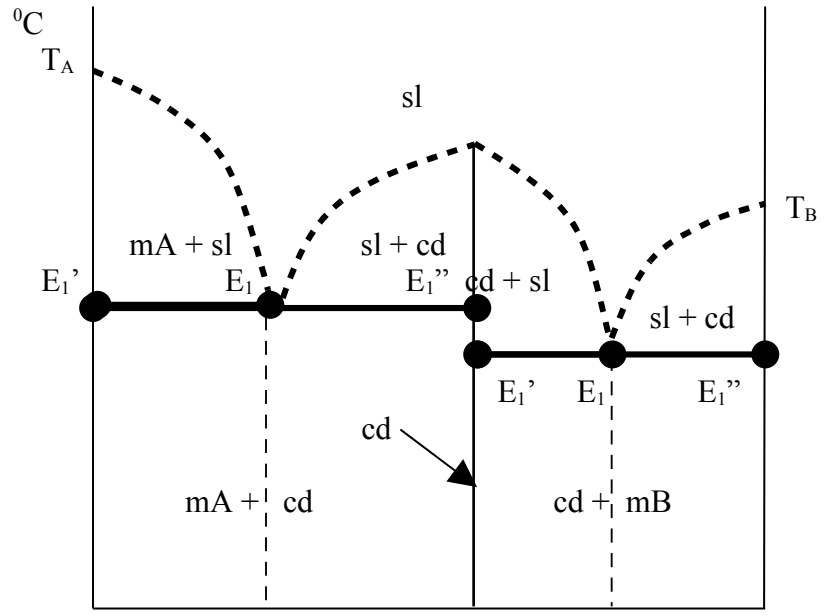
Fig.52
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă,
cu transformare peritectică
(t-p-w-w-w- π –w-w)
(constituenți metalografici)

IV.10.11. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice (t-n-c-w-w-2e-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice (t-n-c-w-w-2e-w-w) este dat în figurile 53 (faze) şi 54 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă, cu compus definit, cu două transformări eutectice	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
n	cu miscibilitate nulă în stare solidă
c	cu compus definit
w	
w	
2e	$sl_{E1} \rightleftharpoons mA + cd$ (E_{ic1}); $sl_{E2} \rightleftharpoons cd + mB$ (E_{ic2})
w	
w	



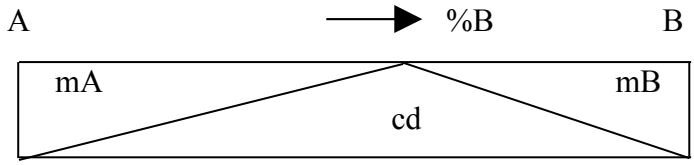


Fig.53
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu compus definit, cu două transformări eutectice
(t-n-c-w-w-2e-w-w)
(faze)

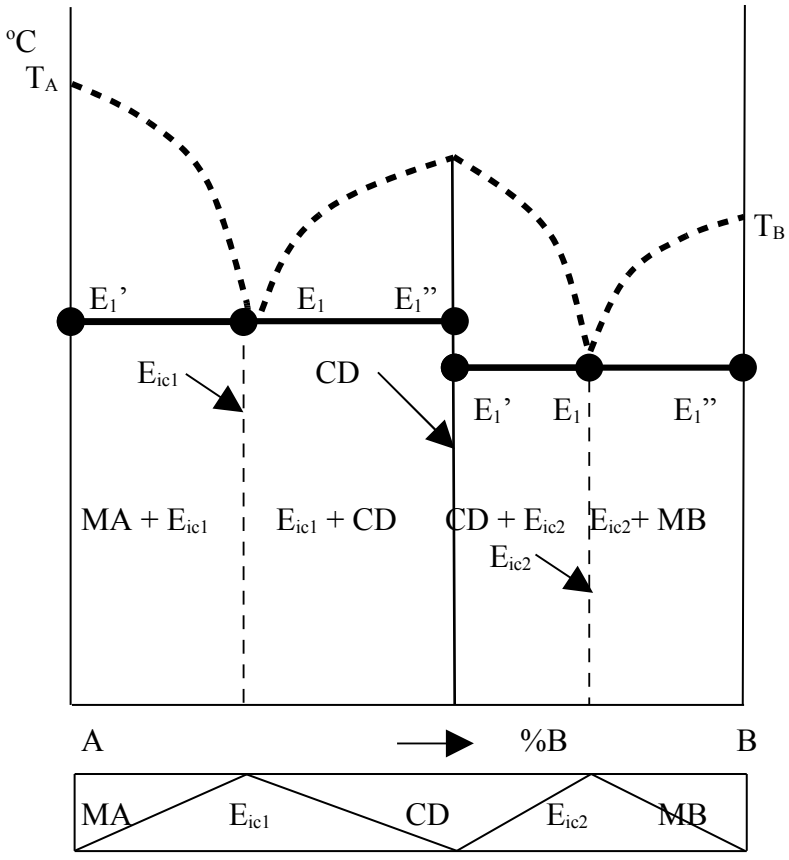


Fig.54
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate nulă în stare solidă,
cu compus definit,
cu două transformări eutectice
(t-n-c-w-w-2e-w-w)

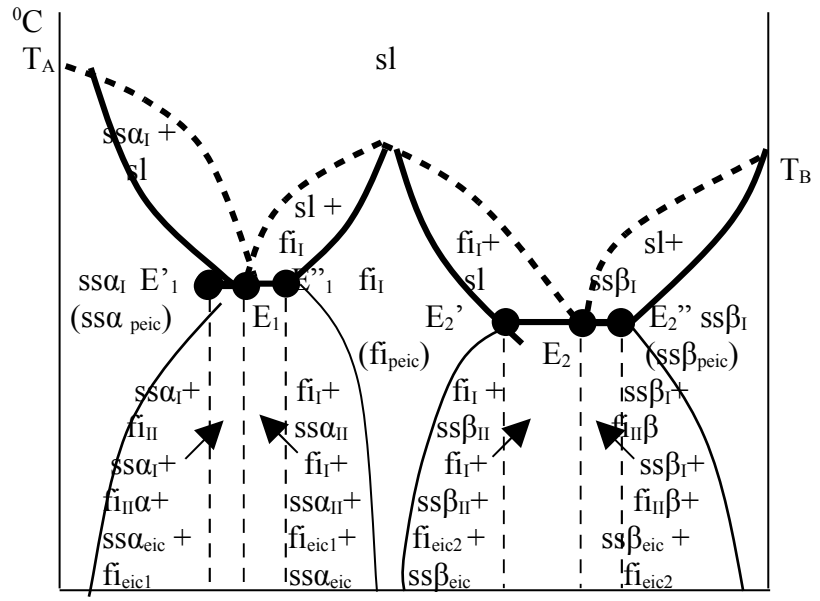
(constituenți metalografici)

IV.10.12. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice (t-p-w-f-w-2e-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice (t-p-w-f-w-2e-w-w) este dat în figurile 55 (faze) şi 56 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parțială în stare solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectice	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
p	cu miscibilitate parțială în stare solidă
w	
f	cu fază intermediară
w	
2e	sl_{E1} $ss\alpha_{IE1'} + fi_{IE1''}$ sl_{E2} $fi_{IE2'} + ss\beta_{IE2''}$ E_{ic1} E_{ic2}
w	
w	



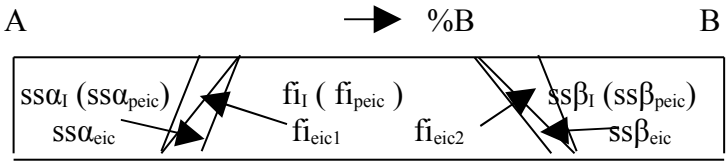


Fig.55
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parţială în stare solidă,
cu fază intermediară, cu două transformări eutectice
(t-p-w-f-w-2e-w-w)
(faze)

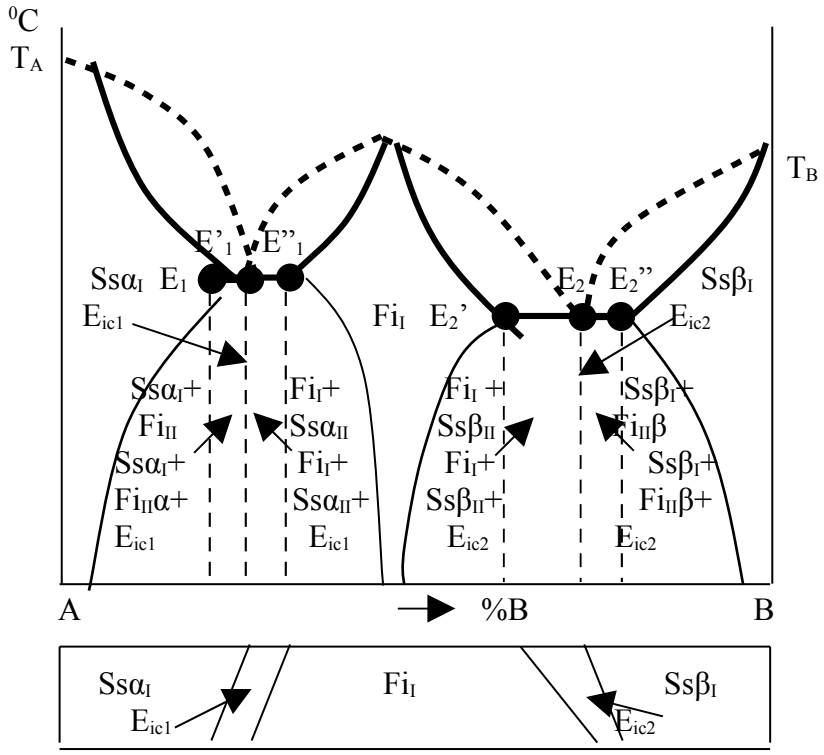


Fig.56
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă, cu miscibilitate parţială în stare solidă,
cu fază intermediară, cu două transformări eutectice
(t-p-w-f-w-2e-w-w)
(constituenţi metalografici)

IV.10.13. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă (t-t-w-w-w-w-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă (t-t-w-w-w-w-w-w) este dat în figurile 57 (faze) şi 58 (constituenţi metalografici).

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
t	cu miscibilitate totală în stare solidă
w	
w	
w	
w	
w	
w	

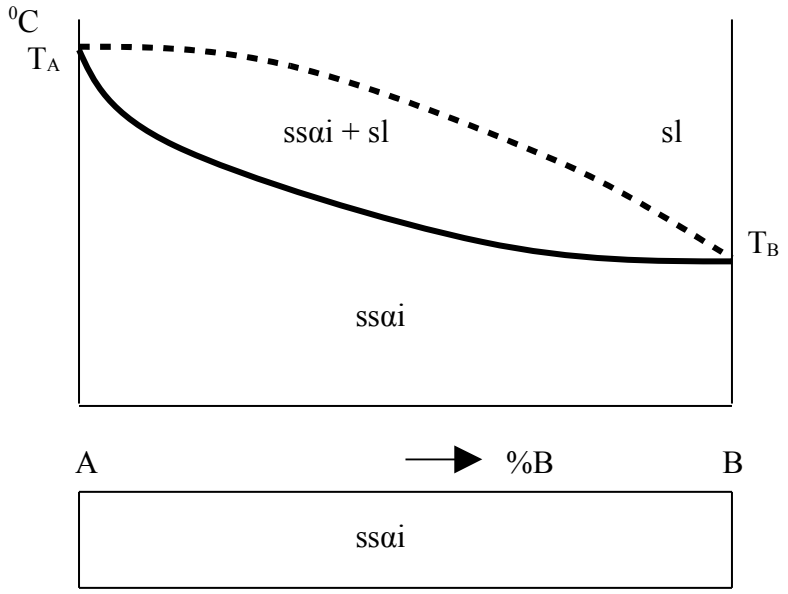
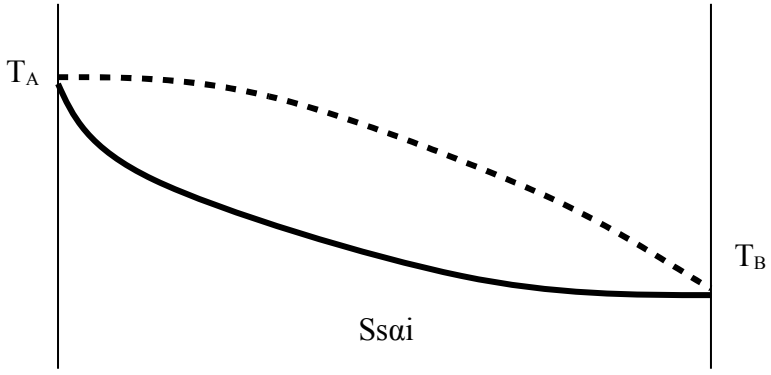


Fig.57
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă
(t-t-w-w-w-w-w-w)
(faze)



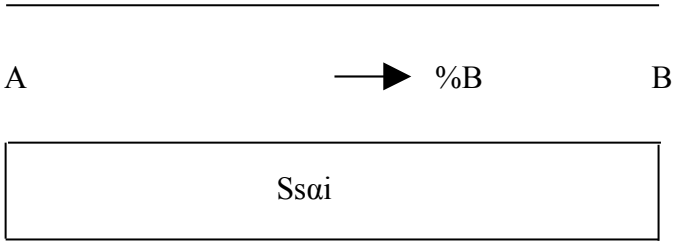


Fig.58
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă
(t-t-w-w-w-w-w-w)
(constituenți metalografici)

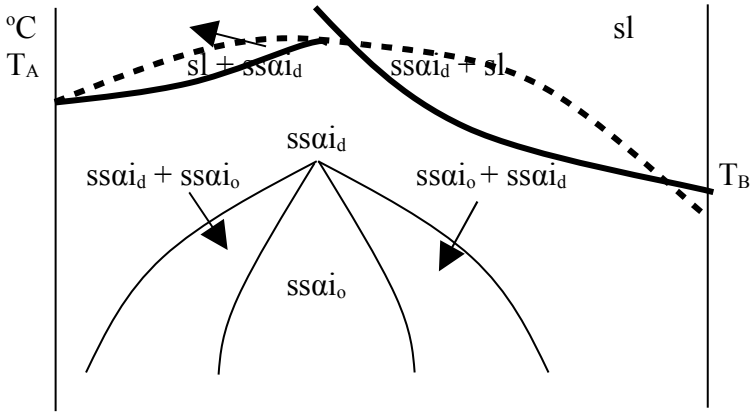
-91-

IV.10.14. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare dezordine-ordine (t-t-w-w-w-w-w-D)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare dezordine-ordine (t-t-w-w-w-w-w-D) este dat în figurile 59 (faze) şi 60 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare dezordine-ordine	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
t	cu miscibilitate totală în stare solidă
w	
w	
w	
w	
w	
D	cu transformare dezordine-ordine



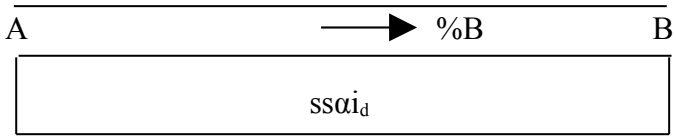


Fig.59
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare dezordine-ordine
(t-t-w-w-w-w-w-D)
(faze)

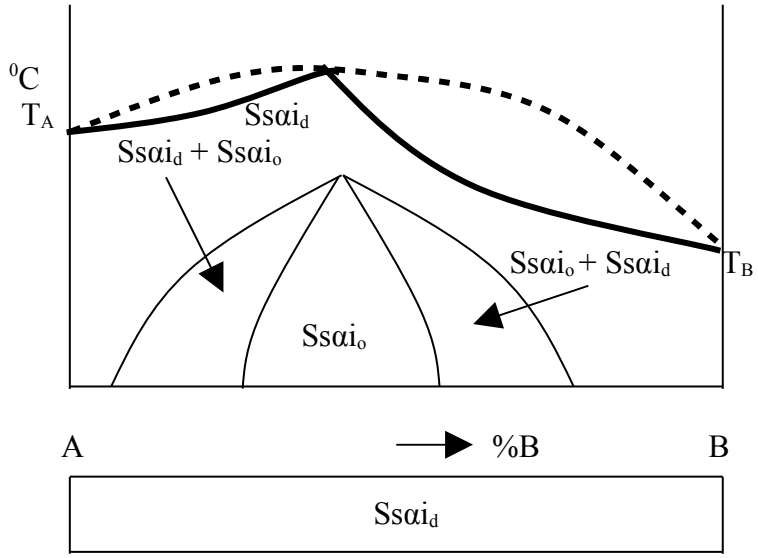


Fig.60
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare dezordine-ordine
(t-t-w-w-w-w-w-D)
(constituenți metalografici)

IV.10.15. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare spinoidală (t-t-w-w-w-w-w-Σ)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare spinoidală (t-t-w-w-w-w-w-Σ) este dat în figurile 61 (faze) şi 62 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare spinoidală	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
t	cu miscibilitate totală în stare solidă
w	
w	
w	
w	
w	
Σ	cu transformare spinoidală

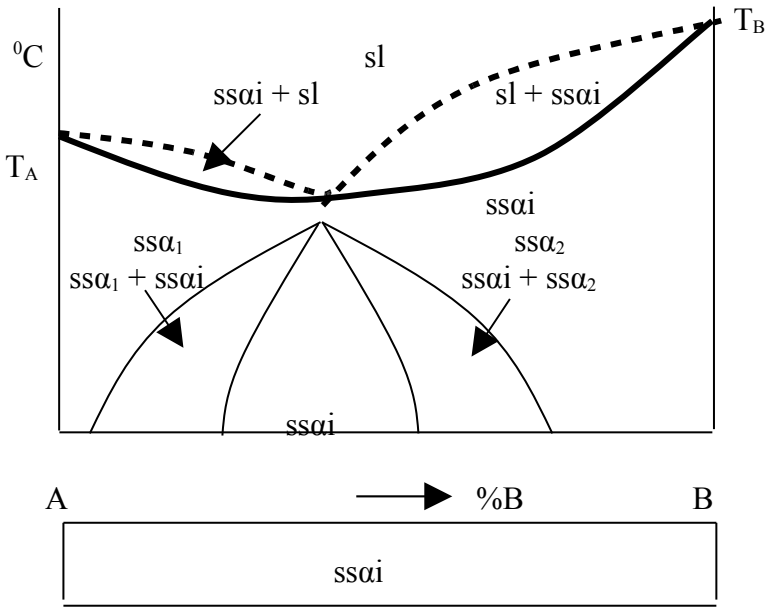
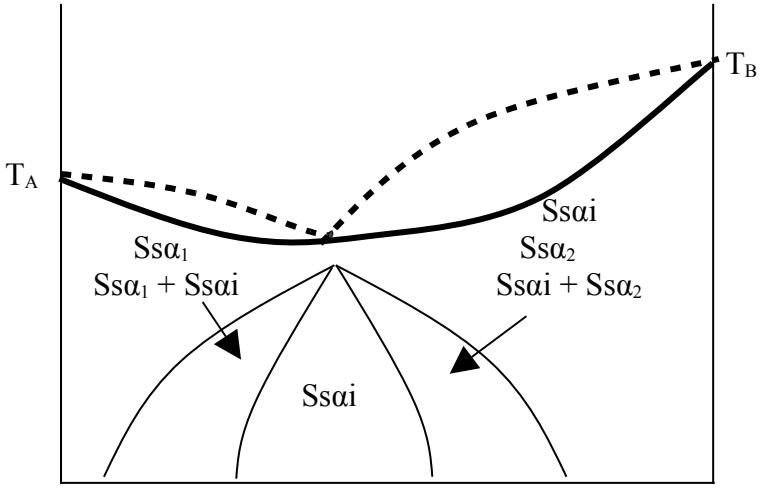


Fig.61
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare spinoidală
(t-t-w-w-w-w-w-Σ)
(faze)



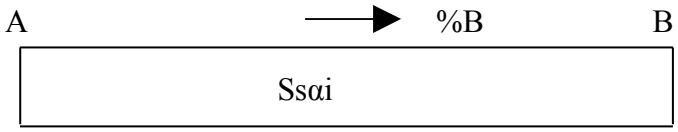


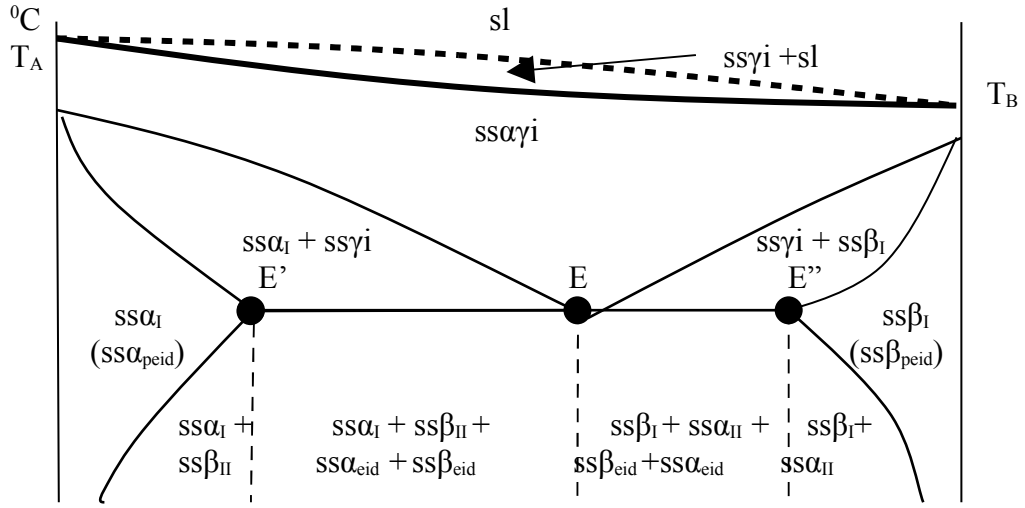
Fig.62
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare spinoidală
(t-t-w-w-w-w-w-Σ)
(constituenți metalografici)

IV.10.16. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă (t-p-w-w-w-w-E-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă (t-p-w-w-w-w-E-w) este dat în figurile 63 (faze) şi 64 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare.

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
t	cu miscibilitate totală în stare solidă
w	
w	
w	
w	
E	$ssγi_E$ $ssα_{IE'}$ + $ssβ_{IE''}$ E_{id}
w	



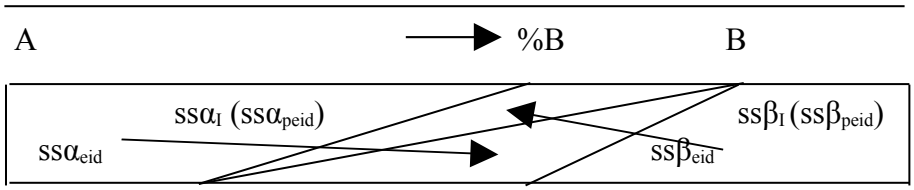


Fig.63
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate totală în stare solidă,
cu transformare eutectoidă
(t-t-w-w-w-w-E-w)
(faze)
-95-

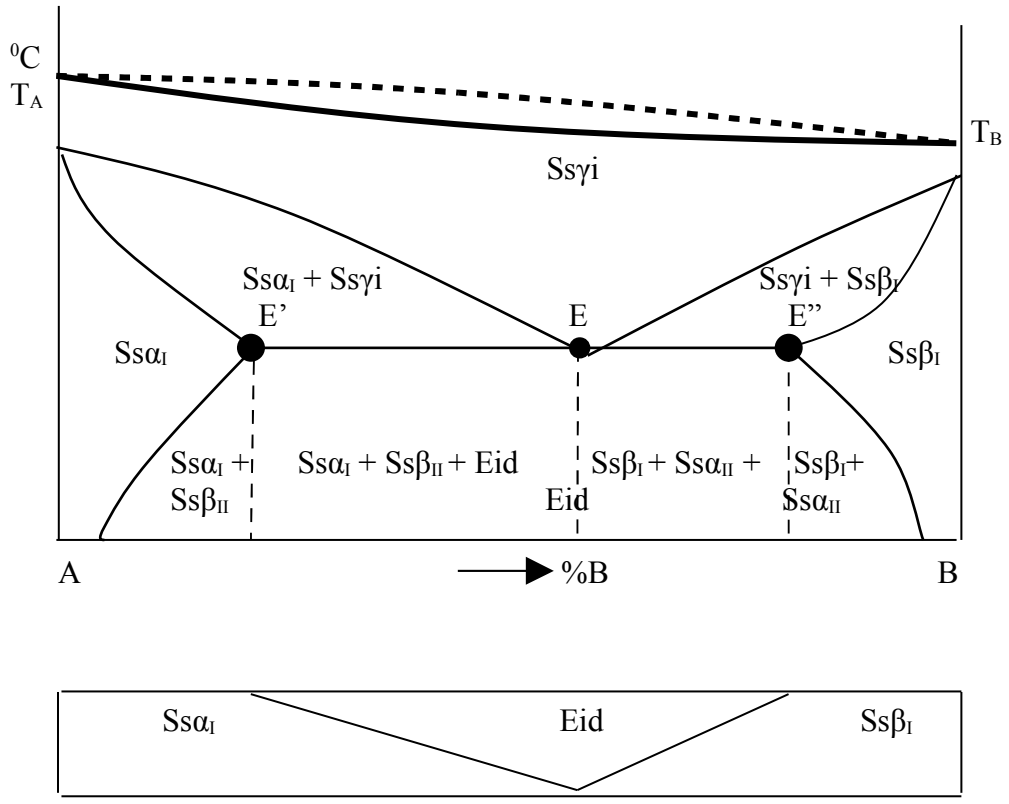


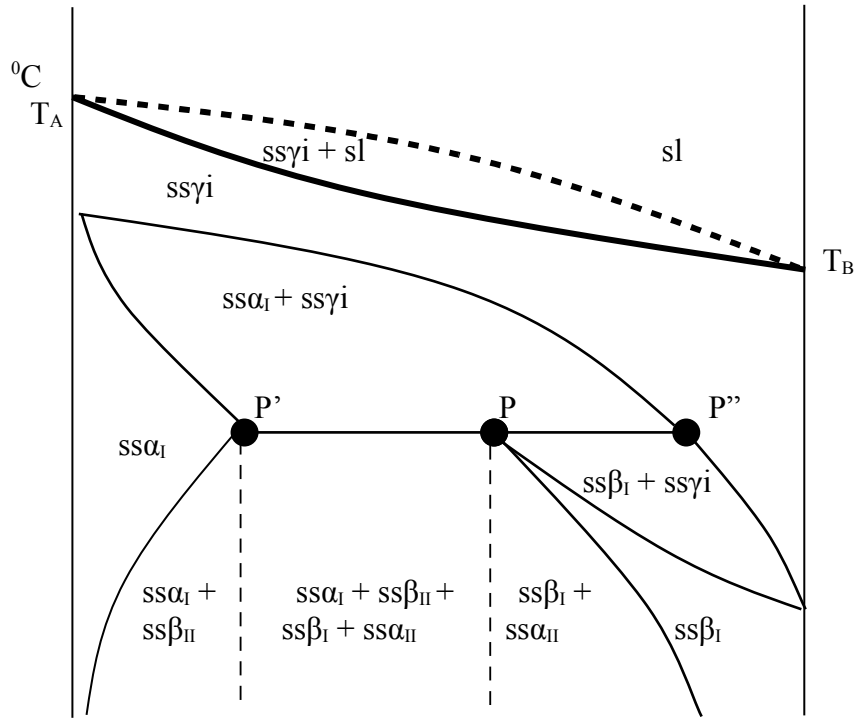
Fig.64
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă,
cu miscibilitate totală în stare solidă,
cu transformare eutectoidă
(t-t-w-w-w-w-E-w)
(constituenți metalografici)

IV.10.17. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare peritectoidă (t-t-w-w-w-w-Π-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare peritectoidă (t-t-w-w-w-w-Π-w) este dat în figurile 65 (faze) şi 66 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare peritectoidă	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
t	cu miscibilitate parţială în stare solidă
w	
w	
w	
w	
Π	$ss\alpha_{IP'} + ss\gamma i_{P''}$ $\quad ss\beta_{IP}$
w	



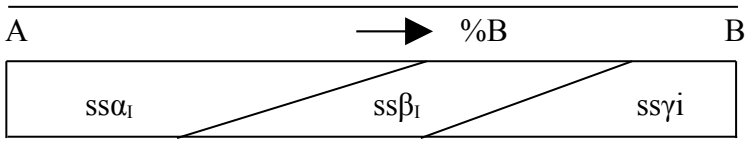


Fig.66
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare peritectoidă
(t-t-w-w-w-w-Π-w)
(faze)

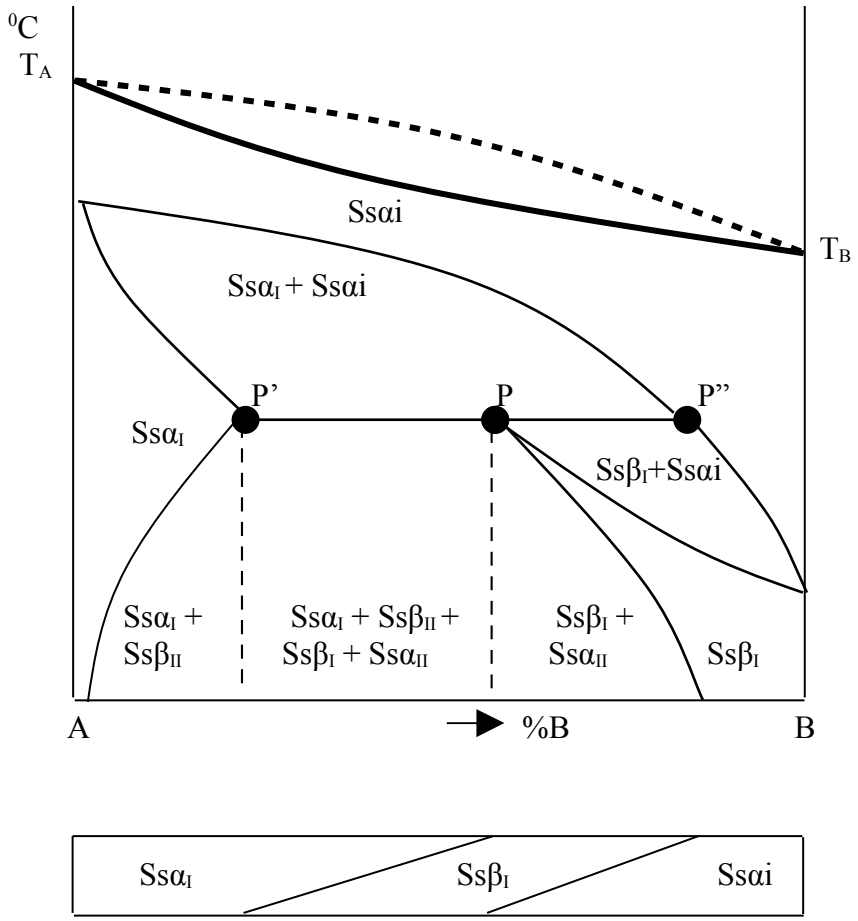


Fig.66
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,

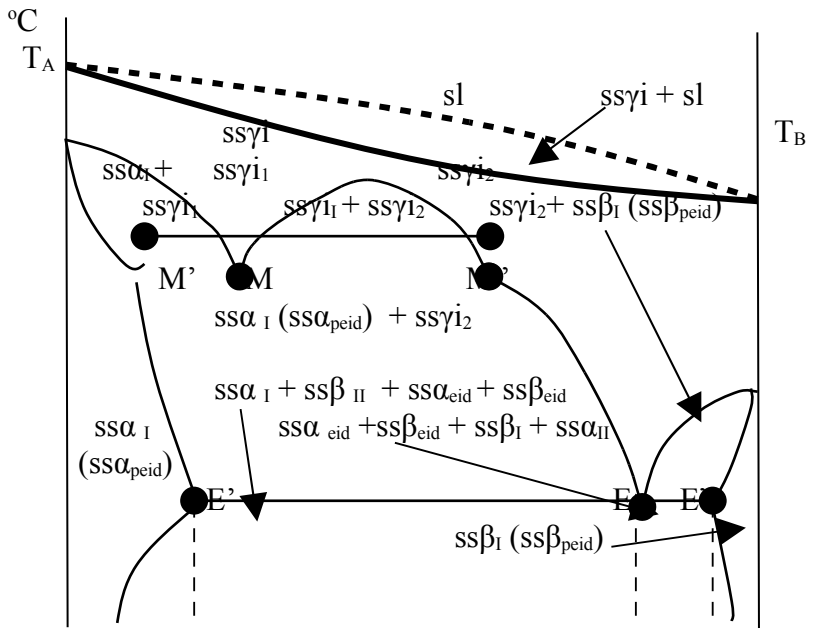
cu transformare peritectoidă
(t-t-w-w-w-w-Π-w)
(constituenți metalografici)

IV.10.18..Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă şi monotectoidă (t-t-w-w-w-w –E,M-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă şi monotectoidă (t-t-w-w-w-w –E,M-w) este dat în figurile 67 (faze) şi 68 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare eutectoidă şi monotectoidă	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
t	cu miscibilitate totală în stare solidă
w	
w	
w	
w	
E M	$ss\gamma_{I2E}$ $ss\alpha_{...}$ + $ss\beta_{IE"}$ E_{id} $ss\gamma_{1M}$ $ss\alpha_{...}$ + $ss\gamma i_{2M"}$
w	



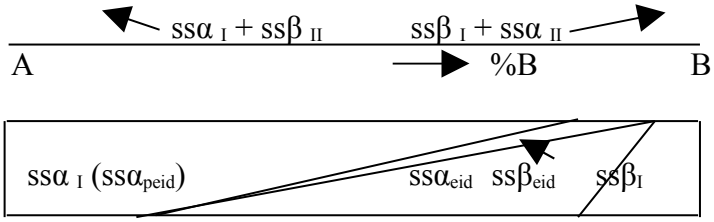


Fig.67
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare eutectoidă şi monotectoidă
(t-t-w-w-w-w –E,M-w)
(faze)

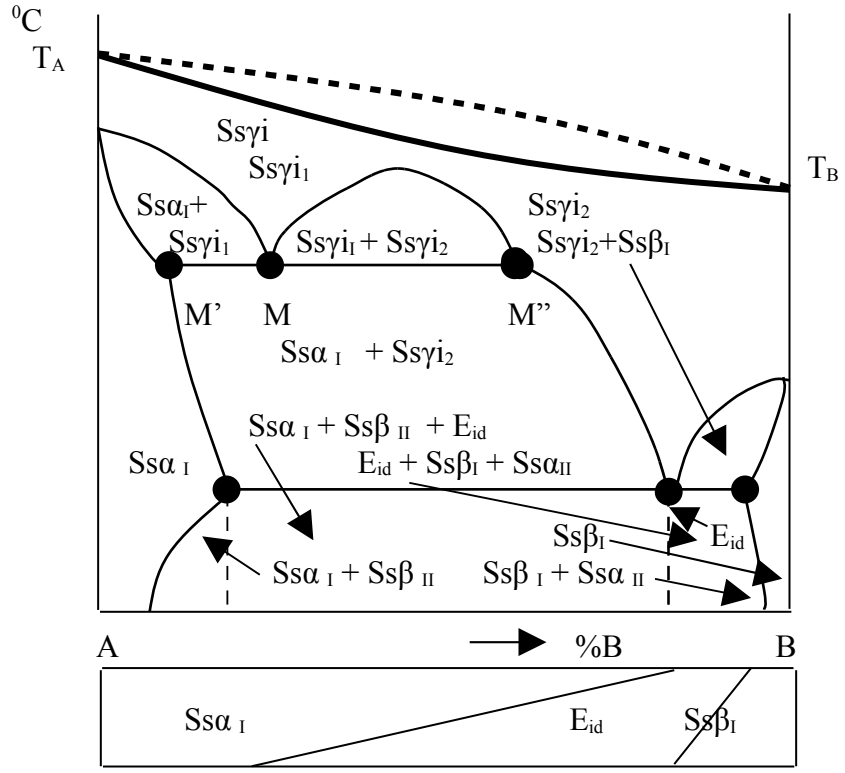


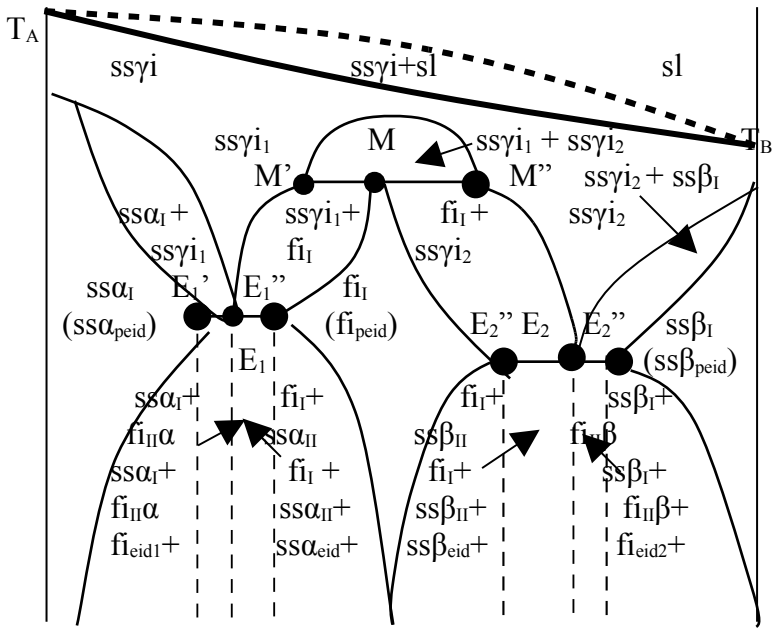
Fig.68
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare eutectoidă şi monotectoidă
(t-t-w-w-w-w –E,M-w)
(constituenți metalografici)

IV.10.19.. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectoide şi transformare sintectoidă (t-t-w-f-w-w-2E,S-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectoide şi transformare sintectoidă (t-t-w-f-w-w-2E,S-w) este dat în figurile 69 (faze) şi 70 (constituenți metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două transformări eutectoide şi transformare sintectoidă	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate parţială în stare lichidă
t	cu miscibilitate parţială în stare solidă
w	
f	cu fază intermediară
w	
w	
2E	$ssi\gamma_{1E1}$ $ss\alpha_{IE1'} + fi_{IE1''}$ $ssi\gamma_{2E2}$ $fi_{IE2'} + ss\beta_{IE2''}$ E_{id1} E_{id2}
S	$ssi\gamma_{1S'} + sl_{2S''}$ fi_{S}
w	



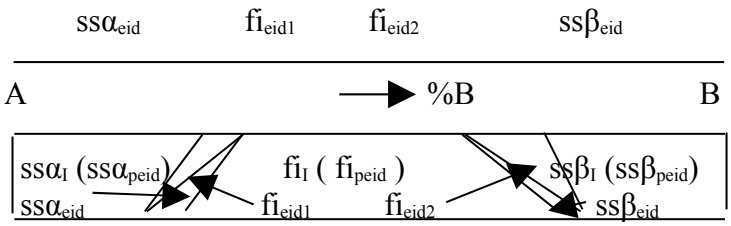


Fig.69
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară, cu două
transformări eutectoide şi transformare sintectoidă
(t-t-w-f-w-w-2E,S-w)
(faze)
-101-

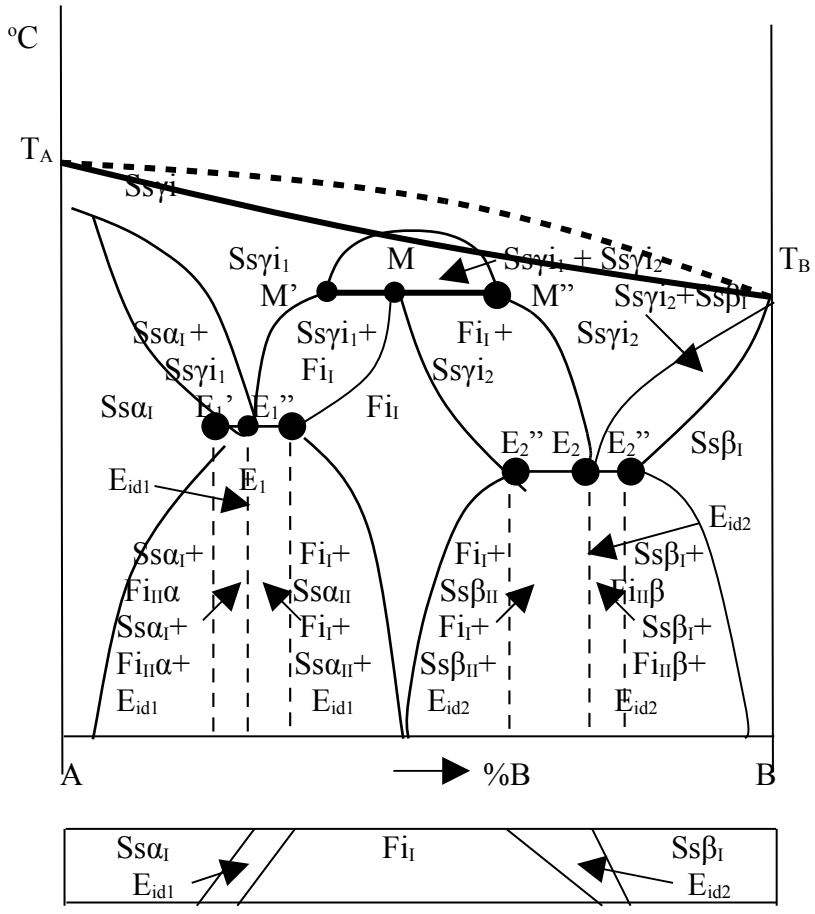


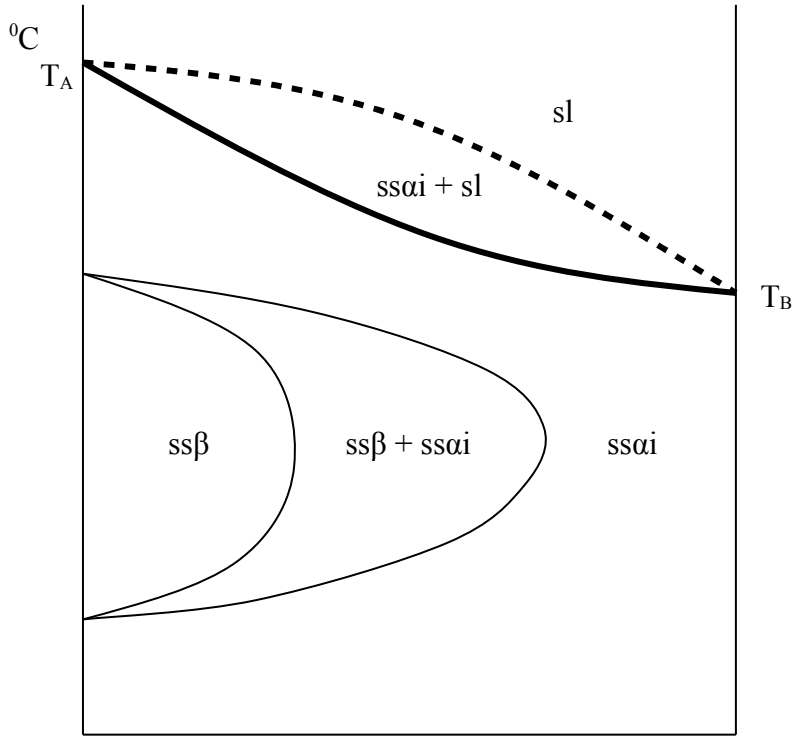
Fig.70
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu fază intermediară,
cu două transformări eutectoide şi transformare sintectoidă
(t-t-w-f-w-w-2E,S-w)
(constituenți metalografici)

IV. 10.20. Diagrama de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare alotropică (t-t-w-w-a-w-w-w)

Un exemplu de diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare alotropică (t-t-w-w-a-w-w-w) este dat în figurile 71 (faze) şi 72 (constituenţi metalografici).

Fişă de caracterizare

Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă, cu transformare alotropică	
Simbol	Descriere
t	cu miscibilitate totală în stare lichidă
t	cu miscibilitate totală în stare solidă
w	
w	
a	cu transformare alotropică
w	
w	
w	



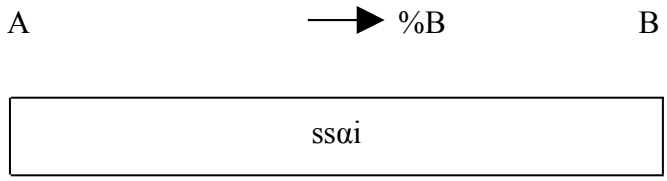


Fig.71
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare alotropică
(t-t-w-w-a-w-w-w)
(faze)
-103-

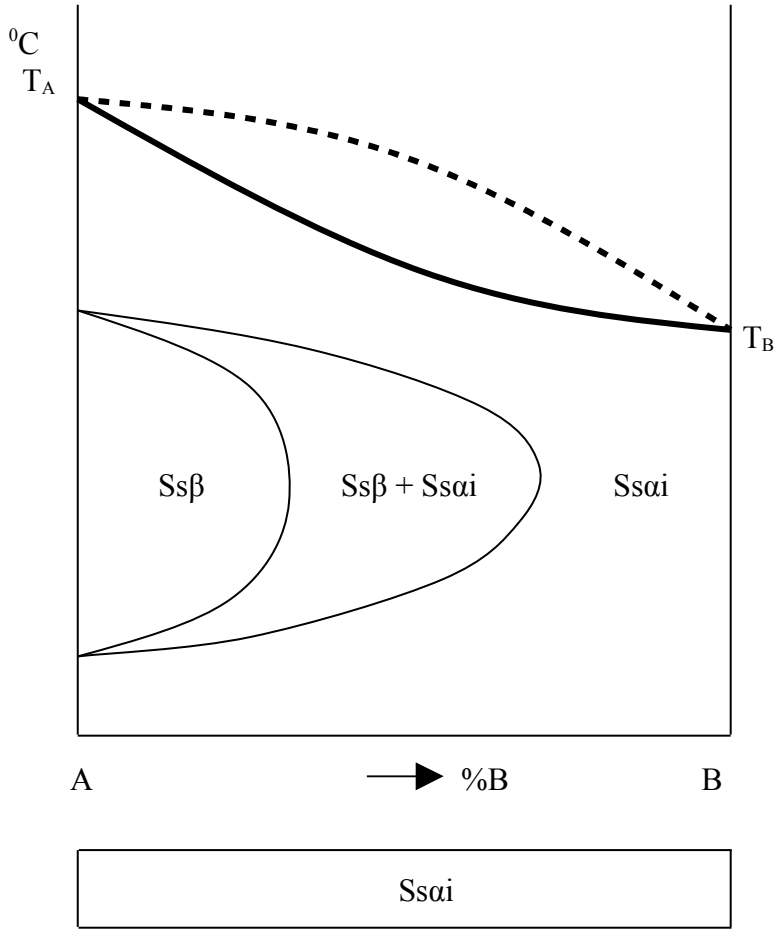


Fig.72
Diagramă de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare
cu miscibilitate totală în stare lichidă şi solidă,
cu transformare alotropică
(t-t-w-w-a-w-w-w)
(constituenți metalografici)

CAPITOLUL V
FIERUL ŞI ALIAJELE SALE

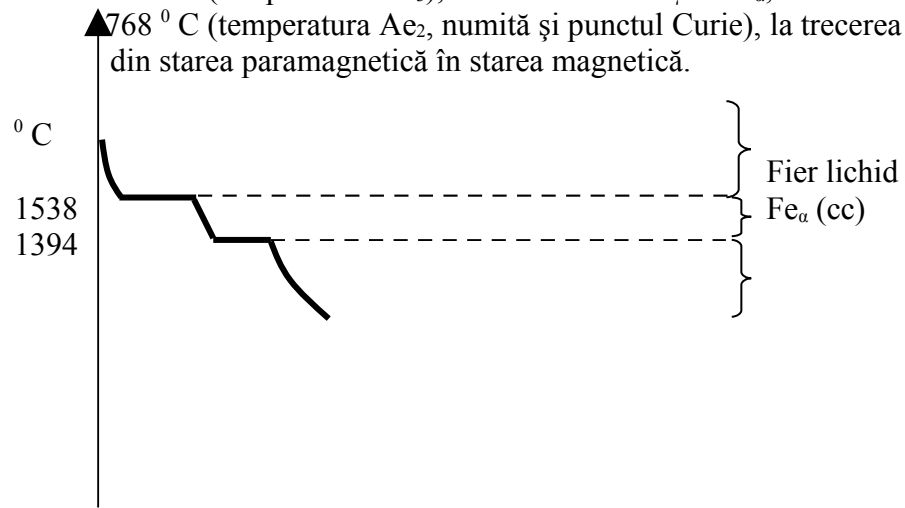
V.1. Proprietățile fierului

-masa molară: M = 55,847;
-masa volumică: ρ = 7870 kg / m^3 la 20^0 C;
-parametrul cristalin: a = 0,286 nm la 20^0 C pentru Fe_α (cc);
a = 0,364 nm la 20^0 C pentru Fe_γ (cfc);
-capacitatea termică masică: c = 0,45-0,95 kJ / kg K pentru Fe_α la 20 - 40^0 C;
c = 0,51-0,72 kJ / kg K pentru Fe_γ la 900 - 1400^0 C;
-conductivitatea termică: λ = 75-30 W / mK la 0 - 800^0 C;
-coeficient de dilatare liniară: α = 12,6 10^{-6}-16,1 10^{-6} m / K pentru Fe_α la 100 -600^0 C;
α = 23,4 10^{-6} m / K pentru Fe_γ la 900 -1100^0 C;
-rezistența de rupere la tracțiune: R_m = 180-290 MPa;
-limita elastică: R_e = 100-170 MPa;
-alungirea relativă: A_r = 40-50 %;
-modulul lui Joung: E = 210000 MPa;
-duritatea: HB = 45-50.

Fierul este atacat de soluțiile apoase acide şi este pasivizat de acizii şi ionii oxidanți.

Polimorfismul fierului este proprietatea care face ca aliajele sale să constituie pricipalul material metalic produs până la orizontul anilor 2050.

Curba de solidificare a fierului prezintă paliere la temperaturile (Fig. 73):
-1538 ^{0} C, la trecerea din starea lichidă în Fe_α (numit şi Fe_δ);
-1394 ^{0} C (temperatura Ae_4), la trecerea din Fe_α în Fe_γ;
-912 ^{0} C (temperatura Ae_3), la trecerea din Fe_γ în Fe_α;
-768 ^{0} C (temperatura Ae_2, numită şi punctul Curie), la trecerea din starea paramagnetică în starea magnetică.



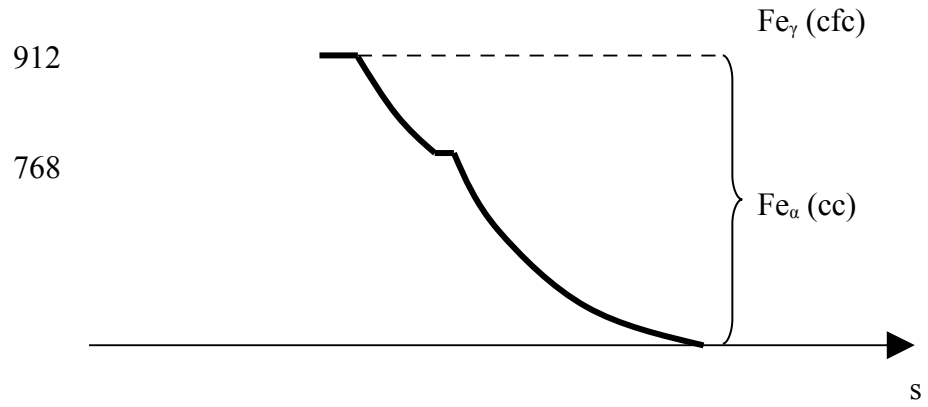


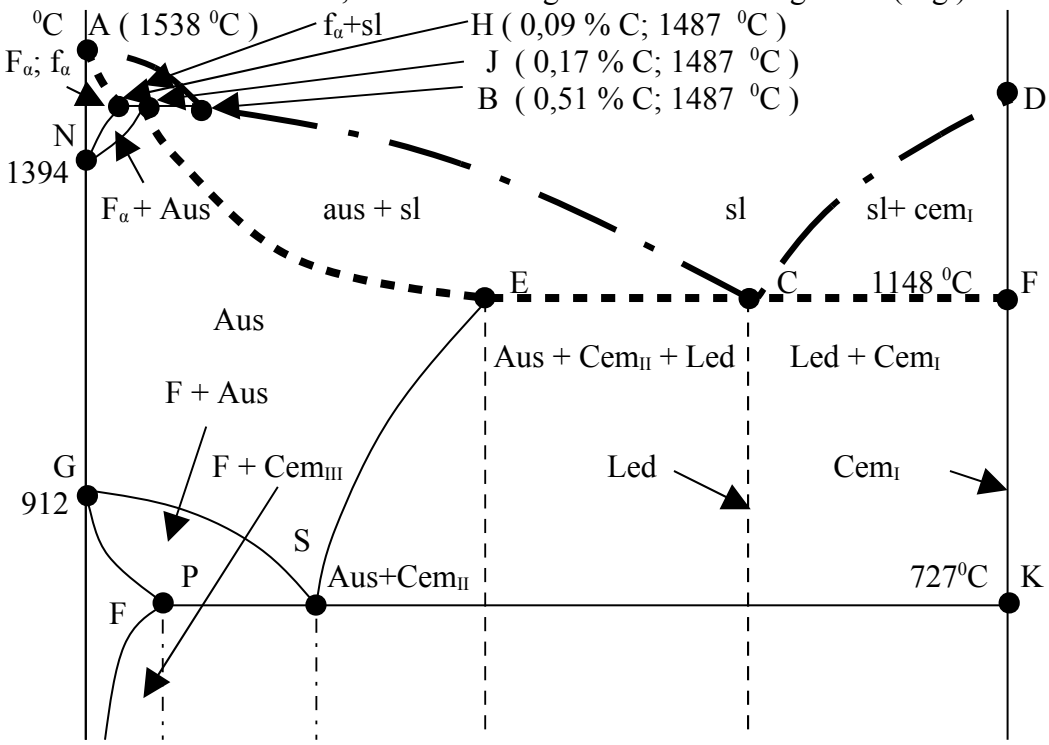
Fig. 73
Curba de solidificare a fierului

Temperaturile de transformare sunt notate prin litere şi cifre astfel:
-litera **A** (arrêt);
-una din literele **r** (fr: refroidissement), **c** (fr: chauffage) sau **e** (fr: équilibre) în cazul răcirii, încălzirii sau, respectiv; la echilibru;
-cifrele **0, 1, 2, 3, 4** care definesc diferite tipuri de transformare:

-0: transformarea magnetică a cementitei (F_3C);
-1: transformarea eutectoidă;
-2: punctul Curie;
-3: transformarea Fe_γ în Fe_α şi invers;
-4: transformarea Fe_γ în Fe_α (numit şi Fe_δ) şi invers.

V.2. Diagramele de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor din sistemul Fe-C

Evoluția sistemului de aliaje binare Fe-C este descrisă de două diagrame:
-de echilibru metastabil, la care faza bogată în carbon este cementita (F_3C);
-de echilibru stabil, la care faza bogată în carbon este grafitul (Cg).



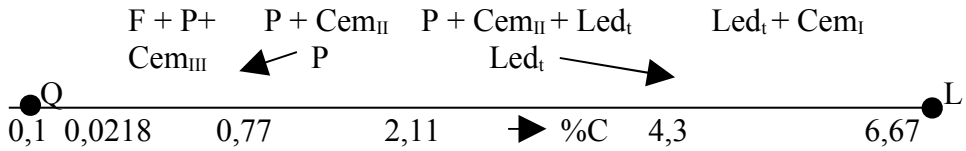


Fig.74

sl-soluție lichidă; F_α – ferită (constituent metalografic); f_α – ferită (fază);
Aus-austenită (constituent metalografic); aus-austenită (fază);
F-ferită; P-perlită (constituent metalografic);
Cem$_I$-cementită primară (constituent metalografic);
Cem$_{II}$-cementită secundară (constituent metalografic);
Cem$_{III}$- cementită terțiară (constituent metalografic);
Led-ledeburită netransformată (constituent metalografic);
Led$_t$- ledeburită transformată (constituent metalografic).

Aceste două tipuri de evoluție nu se produc simultan.

Diagrama de echilibru metastabil (Fig. 74) se mai numeşte şi diagrama Fe- F_3C, deoarece este limitată în stânga, respectiv, în dreapta, de fier şi de cementită, iar diagrama de echilibru stabil (Fig. 75) mai este denumită şi diagrama Fe-Cg, deoarece este limitată în stânga, respectiv, în dreapta, de fier şi de grafit.

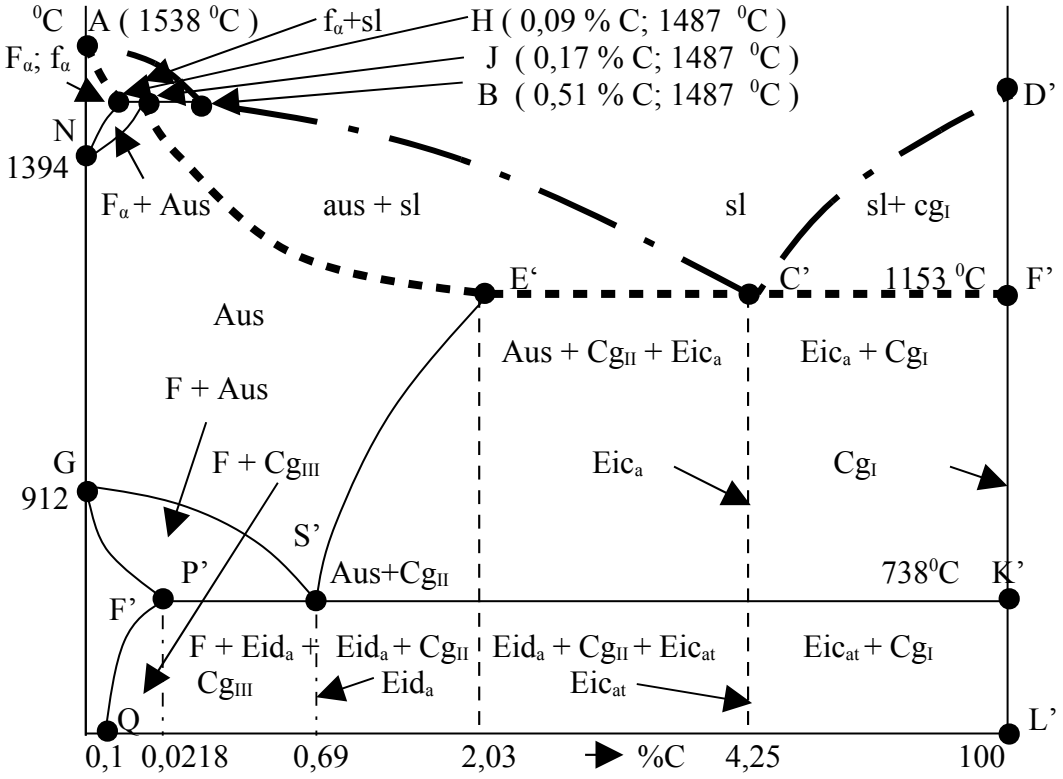


Fig.75.

Diagrama Fe-Cg:

sl-soluție lichidă; F_α – ferită (constituent metalografic); f_α – ferită (fază);
Aus-austenită (constituent metalografic); aus-austenită (fază);
F-ferită; Eid$_a$ –eutectoid anormal (constituent metalografic);
Cg$_I$-grafit primar (constituent metalografic);
Cg$_{II}$-grafit secundar (constituent metalografic);

Cg_{III}- grafit terţiar (constituent metalografic);
Eic_a-eutectic anormal netransformat (constituent metalografic);
Eic_{at}- eutectic anormal transformat (constituent metalografic).

În cele două diagrame sunt menţionate:
-numai fazele deasupra liniei lichidus;
-constituenţii metalografici sub linia solidus.

Diagrama de echilibru metastabil descrie transformările oţelurilor şi fontelor albe. Diagrama de echilibru stabil descrie solidificarea fontelor cenuşii şi, la o anumită compoziţie a austenitei, când are loc o tranziţie în diagrama metastabilă, transformările în stare solidă.

V.3. Definirea şi clasificarea oţelurilor

Oţelurile sunt aliaje ale fierului la care conţinutul de carbon nu depăşeşte 2,11 % (limita practică este cuprinsă între 1,4 şi 1,5 %) şi care mai conţin elemente însoţitoare permanente (Mn, Si, P, S), inerente procesului de elaborare. Ele constituie principala grupă de materiale folosite în industrie până la nivelul orizontului 2050.

Clasificarea oţelurilor se poate face după următoarele criterii:

- după agregatul de elaborare:
  - oţeluri Martin;
  - oţeluri de convertizor;
  - oţeluri de cuptor electric ,etc;
- după gradul de dezoxidare:
  - oţeluri necalmate;
  - oţeluri semicalmate;
  - oţeluri calmate;
- după compoziţia chimică:
  - oţeluri nealiate:
    - oţeluri nealiate de uz general;
    - oţeluri nealiate de calitate;
    - oţeluri nealiate speciale;
  - oţeluri aliate:
    - oţeluri aliate de calitate;
    - oţeluri aliate speciale.

Definirea şi clasificarea mărcilor de oţel este dată de Standardul Român SR EN 10020:1994, care este versiunea românească a Standardului European EN 10020:1988.

Oţelurile nealiate sunt acele oţeluri la care nu se atinge nici una dintre valorile limită din tabelul nr.7, în caz contrar ele sunt oţeluri aliate.

Clasele de calitate principale ale oţelurilor nealiate sunt următoarele:

- oţeluri nealiate de uz general;
- oţeluri nealiate de calitate;
- oţeluri nealiate speciale.

Oţelurile nealiate de uz general sunt oţelurile produse prin procedee de elaborare obişnuite şi care nu necesită o tehnologie de fabricaţie specială. Aceste oţeluri îndeplinesc următoarele 4 condiţii:

-nu necesită tratament termic (în SR EN 10020:1994 recoacerea sau normalizarea nu sunt privite ca tratamente termice);

-caracteristicile prescrise în standardul său sau în specificaţia de produs pentru produsele livrate în stare de laminare sau normalizată, corespund valorilor limită din tabelul nr.8;

-nu se prescrie nici o altă condiţie de calitate, de exemplu capacitatea de tragere la rece, trefilare, formare la rece, etc;

-nu sunt impuse condiţii particulare pentru nici un element de aliere, cu excepţia manganului şi a siliciului.

Tabelul 7

Elementul prescris	Valoarea limită (% de masă)
Al Aluminiu	0,10
B Bor	0,008
Bi Bismut	0,10
Co Cobalt	0,10
Cr Crom	0,30
Cu Cupru	0,40
La Lantanide (fiecare)	0,05
Mn Mangan	1,65
Mo Molibden	0,08
Nb Niobiu	0,06
Ni Nichel	0,30
Pb Plumb	0,40
Se Seleniu	0,10
Si Siliciu	0,50
Te Telur	0,10
Ti Titan	0,05
V Vanadiu	0,10
W Wolfram	0,10
Zr Zirconiu	0,05
Altele (cu excepţia C, P, S, N) (fiecare)	0,05

Tabelul 8

Caracteristica prescrisă	Grosime (mm)	Încercare în conformitate cu EN	Valoarea limită
Rezistenţa la rupere minimă	≤16	2 sau 11	≤690N/m^2

Limita la curgere minimă	≤16	2 sau 11	≤360 N/m^2
Alungirea la rupere minimă	≤16	2 sau 11	≤26%
Valoarea minimă a energiei de rupere la 20^0C, pe epruvete ISO cu crestătură în V, prelevate longitudinal	≥10≤16	45	27J
Conținutul de carbon maxim			≥0,10%
Conținutul de fosfor maxim			≤0,045%
Conținutul de sulf maxim			≤0,045%

Oțelurile nealiate de calitate sunt oțeluri care nu au impuse condiții pentru o comportare precizată la tratament termic sau pentru puritate în ceea ce priveşte incluziunile nemetalice. Ca urmare a condițiilor în care sunt utilizate, prescripțileprivind calitatea acestora sunt mai severe decât cele ale oțelurilor de uz general astfel încât, în timpul fabricării acestor oțeluri este necesară o atenție specială. Oțelurile nealiate de calitate sunt oțeluri nealiate, altele decât oțelurile nealiate de uz general şi oțelurile nealiate speciale.

Oțelurile nealiate speciale au o puritate superioară oțelurilor nealiate de calitate, în special în privința incluziunilor nemetalice. În majoritatea cazurilor, aceste oțeluri sunt destinate tratamentului termic de călire-revenire sau durificării superficiale şi se caracterizează printr-o comportare precizată la astfel de tratamente. Caracteristicile superioare ale acestor oțeluri, care satisfac cu exactitate prescripțiile, sunt asigurate prin verificarea riguroasă a compoziției chimice, atenție specială în fabricație şi controlul procesului. Aceste caracteristici includ limita de curgere şi călibilitatea, asociate uneori cu capacitatea de formare la rece, sudabilitatea sau tenacitatea.

Oțelurile nealiate speciale satisfac una sau mai multe dintre următoarele condiții:

-energia de rupere prescrisă în stare călită şi revenită;

-adâncimea de călire sau duritatea superficială prescrisă în stare călită, călită şi revenită sau călită superficial;

-conținuturi scăzute de incluziuni nemetalice;

-conținuturi maxime de 0,025% de fosfor şi de sulf pe produs;

-energia de rupere mai mare de 27 J la -50^0C pe epruvete ISO cu crestătura în V, prelevate longitudinal;

-oțeluri pentru reactivi nucleari, cu restricții pentru următoarele elemente specificate simultan, la analiza chimică pe produs: max 0,10% Cu, max. 0,05% Co, max. 0,05 %V;

-oțeluri pentru durificare prin precipitare cu conținut de carbon de min. 0,25%, la analiza chimică pe oțel lichid şi o microstructură ferito-perlitică, conținând unul sau mai multe elemente de microaliere (de exemplu niobiu, vanadiu), cu concentrații inferioare valorilor limită pentru oțeluri aliate. În general, durificarea prin precipitare se realizează prin răcire controlată de la temperatura de deformare la cald.

Clasele de calitate principale ale oțelurilor aliate sunt următoarele:

-oţeluri aliate de calitate;
-oţeluri aliate speciale.

Oţelurile aliate de calitate sunt utilizate în aplicaţii similare celor ale oţelurilor nealiate de calitate, dar realizarea caracteristicilor prescrise necesită adaosul de elemente de aliere peste valorile limită din tabelul nr.1.În general, oţelurile aliatede calitate nu sunt destinate tratamentului termic de călire-revenire sau de călire superficială.

Aceste oţeluri se pot clasifica astfel:

-oţeluri de construcţie cu granulaţie fină sudabile, incluzând oţelurile pentru recipiente sub presiune, altele decât oţelurile aliate pentru produsele plate laminate la rece sau la cald şi care satisfac toate condiţiile următoare:

-limita de curgere minimă prescrisă mai mică de 380 N/mm^2 pentru grosimi de max.16 mm;

-valori prescrise ale energiei la rupere de min. 27 J la –50 ^{0}C, pe epruvete ISO cu crestătură în V, prelevate longitudinal.

-oţeluri pentru electrotehnică conţinând ca elemente de aliere siliciu sau siliciu şi aluminiu, în scopul satisfacerii prescripţiilor referitoare la pierderile magnetice sau la valori minime pentru inducţia magnetică, polarizare sau permeabilitate;

-oţeluri aliate pentru şine, pentru palplanşe , pentru armături de mină;

-oţeluri aliate pentru produse plate laminate la rece sau la cald pentru utilizări la care intervin deformări la rece severe, altele decăt oţelurile pentru recipientele sub presiune şi ţevi(vezi mai sus), care conţin elemente chimice de finisare a granulaţiei, precum borul, niobul, titanul şi/sau zirconiul, precum şi oţelurile bifazice(care au o structură preponderent feritică, cu 10 până la 35% martensită în formaţiuni mici uniform dispersate);

-oţeluri aliate la care singurul element de aliere prescris este cuprul.

Oţelurile aliate speciale sunt caracterizate prin verificarea riguroasă a compoziţiei chimice prin condiţii speciale de fabricaţie şi de control, care să asigure caracteristici superioare în limite înguste de control. Aceste oţeluri se clasifică astfel:

-oţeluri inoxidabile, care conţin maxim 1,2% carbon, minim 10,5% crom şi care se împart în două categorii în funcţie de conţinutul de nichel:

-Ni< 2,5 %;

-Ni≥ 2,5%;

-oţeluri rapide, care conţin, pe lângă alte elemente, cel puţin două dintre următoarele trei elemente: molibden, wolfram, vanadiu, în conţinut însumat de min. 0,6% carbon şi până la 6% crom;

-alte oţeluri aliate speciale.

V.4. Definirea şi clasificarea fontelor

Fontele sunt aliaje ale fierului la care conţinutul de carbon depăşeşte pe cel corespunzător punctului E din diagrama de echilibru metastabil (% C =2,11) sau pe cel corespunzător punctului E' din diagrama de echilibru stabil (% C =2,03). La fonte , conţinutul elementelor însoţitoare permanente (Mn, Si, P, S), inerente procesului de

elaborare este mai mare decât la oţeluri, ceea ce face mai aproximativă interpretarea rezultatelor pe baza diagramelor Fe – Fe_3C sau Fe – grafit.

Clasificarea fontelor se face după următoarele criterii:

- după materia primă utilizată la elaborare :
  - fonte de I [a] fuziune (din minereu) ;
  - fonte de a II [a] fuziune (prin retopirea fontei de I [a] fuziune) ;
- după aspectul suprafeţei de rupere :
  - fonte albe (aspect metalic strălucitor; nu conţin grafit) ;
  - fonte cenuşii (aspect întunecat; nu conţin ledeburită) ;
  - fonte pestriţe (aspect mixt; conţin atât ledeburită cât şi grafit;
- după conţinutul de elementului principal de aliere:
  - fonte nealiate;
  - fonte aliate:
    - -slab;
    - -mediu;
    - -înalt.

V.5. Structura oţelurilor recoapte

V.5.1. Structura oţelurilor nealiate recoapte

Formarea structurii oţelurilor nealiate recoapte se explică prin referire la diagrama de echilibru al fazelor Fe-Fe_3C şi, cu totul excepţional, la diagrama de echilibru al fazelor Fe-grafit.

Fazele principale ale oţelurilor nealiate recoapte sunt ferita (ferita α), ferita δ , austenita şi cementita.

Ferita (ferita α) este o soluţie solidă interstiţială de carbon în fier α. Solubilitatea maximă a carbonului este de 0,0218% la 727^0C. Reţeaua cristalină a feritei este cubică cu volum centrat.

Ferita δ este o soluţie solidă interstiţială de carbon în fier δ. Solubilitatea maximă a carbonului este de 0,09% la 1495^0C. Reţeaua cristalină a feritei este cubică cu volum centrat.

Austenita este o soluţie solidă interstiţială de carbon în fier γ. Solubilitatea maximă a carbonului este de 2,11 la 1148^0C. Reţeaua cristalină a austenitei este cubică cu feţe centrate.

Cementita (Fe_3C) este un compus interstiţial cu reţea ortorombică ce corespunde unui conţinut de 6,67% de carbon. Este o carbură metastabilă şi are tendinţa de a se descompune în condiţii speciale, conform reacţiei:

$$Fe_3C \longrightarrow 3\,Fe + C_g\ (grafit) \qquad (60)$$

Cementita poate fi primară, secundară sau terţiară, după ordinea apariţiei la răcire.

Constituenţii metalografici principali ai oţelurilor nealiate recoapte sunt ferita (ferita α), ferita δ , austenita, cementita şi perlita..

Perlita este un agregat eutectoid obţinut prin transformarea izotermă la 727^0C a astenitei, conform relaţiei:

$$As\ (\text{austenita}) \overset{727^{0}C}{\rightleftharpoons} \underbrace{F\alpha_{P}(\text{ferita }\alpha) + Cem_{II}(\text{cementita secundară})}_{P\ (\text{perlita})} \qquad (61)$$

Conținutul procentual de masă a celor două faze componente ale perlitei se poate calcula astfel:

$$\%F = \frac{masa\ \ feritei}{masa\ \ perlitei} \cdot 100 = \frac{6,67 - 0,77}{6,67 - 0,02} \cdot 100 = \ \%$$
$$\%Cem_{II} = \frac{masa\ \ cementitei}{masa\ \ perlitei} \cdot 100 = \frac{6,67 - 0,77}{6,67 - 0,77} = \ \% \qquad (62)$$

În general, perlita este formată din lamele alternante de ferită şi cementită. Cementita apare prin difuzie la limitele grăunților de austenită, fără a avea relație cristalografică cu faza din care s-a format. Prin tratament termic direct sau plecând de la perlita lamelară, se poate obține perlită globulară, formată din cementită globulară într-o matrice feritică.

Unele caracteristici mecanice ale celor trei constituenți metalografici sunt prezentate în tabelul 15.

Tabelul 15

Constituentul metalografic	R_m (daN/mm^2)	Ar (%)	H (HB)
Ferită	30	40	80
Cementită	4	0	800
Perlită	55-110	25-10	185-250

Parametrii microstructurali principali, care influențează caracteristicile mecanice ale oțelurilor ferito-perlitice, sunt mărimea grăunților de ferită (d) şi distanța interlamelară la perlită (Δ). Datorită schimbării raportului dintre masa feritei şi a perlitei, primul parametru este preponderent până la un conținut de 0,4-0,5% C, iar al doilea pentru conținuturi superioare.

Influența celor doi parametri microstructurali asupra limitei elastice (R_e) şi a temperaturii de tranziție fragil-ductil ($TK_{3,5}$) este redată în tabelul 16.

Tabelul 16

Parametrul microstructural	R_e	$TK_{3,5}$
d		
Δ		

Structura oțelurilor nealiate recoapte la temperatura ambiantă este dată în tabelul 17.

Tabelul 17

Conținutul de carbon	Structura (constituienți metalografici)
0 < %C < 0,001	ferită primară (proeutectoidă)
0,001 < %C < 0,021	ferită primară (proeutectoidă) + cementită terțiară
0,021< %C < 0,77	ferită primară (proeutectoidă) +

	cementită terțiară + perlită
%C = 0,77	perlită
0,77 < %C < 2,11	perlită + cementită secundară (proeutectoidă)

Influența cementitei terțiare, prezentă în oțelurile nealiate cu conținut de carbon cuprins între 0,0218 şi 0,77 %, este atât de insignifiantă încât se neglijează prezența ei în diagramele de echilibru termodinamic al fazelor.

V.5.2. Structura oțelurilor aliate recoapte

Prin apariția oțelurilor aliate s-a ameliorat călibilitatea (în cazul oțelurilor de îmbunătățire), a fost extins domeniul temperaturilor de utilizare până la valori extreme (în cazul oțelurilor refractare, criogenice) şi s-a permis utilizarea lor în medii agresive (în cazul oțelurilor inoxidabile).

Influența elementelor de aliere asupra structurii la echilibru şi a transformărilor, se manifestă, în special, pe trei direcții:

- modificări ale transformărilor eutectice şi eutectoide (mecanism, temperatură, concentrație);
- modificări ale suprafeței domeniilor de existență ale feritei sau austenitei (elemente alfagene sau gamagene);
- modificări ale naturii carburilor în echilibru (elemente carburigene sau necarburigene).

Cele mai simple oțeluri aliate sunt aliaje ternare, a căror diagramă de echilibru termodinamic al fazelor este foarte dificil de realizat. În astfel de cazuri, pentru studiul structurii se utilizează secțiuni ternare izoterme sau, de cele mai multe ori, secțiuni pseudobinare, la care conținutul unui component este constant.

În cazul aliajelor complexe, cu mai mult de un element de aliere, nu există diagrame de echilibru termodinamic al fazelor. Totuşi, prin gruparea elementelor de aliere cu influență identică se pot realiza diagrame mai simple pentru aproximarea structurii unor anumite oțeluri.

Influența elementelor de aliere asupra domeniului austenitic se poate aproxima prin proiectarea unei secțiuni pseudobinare asupra planului Fe-C.

Astfel de proiecții s-au realizat pentru diferite elemente gamagene (Mn, Ni) sau alfagene (Cr, Si, Mo). Aceste secțiuni pseudobinare proiectate pe planul Fe-C sunt instrumente deosebit de utile pentru studiul:

- oțelurilor care urmează să fie supuse unui tratament termic de călire, care implică o încălzire în domeniul austenitic;
- oțelurile inoxidabile monofazice feritice sau austenitice.

Un alt aspect important al structurii oțelurilor aliate este prezența carburilor aliate. Elemente de aliere (Ea) ca de exemplu, manganul, cromul, molibdenul, wolframul, vanadiul, titanul şi niobiul sunt carburigene, iar siliciul, aluminiul, cuprul, nichelul şi cobaltul nu sunt carburigene.

Carburile aliate se pot clasifica în două tipuri:

- cementite aliate, cu formula $(FeEa)_3C$, păstrând rețeaua cristalină ortorombică a cementitei;

- carburi speciale, cu formula $(FeEa)_mC_n$ de diferite tipuri ($Ea_{23}C_6$; Ea_6C; Ea_2C; Ea_7C_3; EaC etc.)

Manganul formează numai cementite aliate. Cromul, molibdenul si wolframul formează atât cementite aliate cât şi carburi. Vanadiul, titanul, niobiul, zirconiul formează cu precădere carburi speciale.

Influenţa elementelor de aliere asupra caracteristicilor mecanice ale oţelurilor aliate recoapte depinde de raportul lor de repartiţie între carburi şi ferită la temperatura ambiantă (Ea_C / Ea_F). Astfel, dacă fosforul, siliciul, aluminiul, cuprul, nichelul şi cobaltul au un raport de repartiţie nul, celelalte elemente au acest raport tot mai mare, în funcţie directă cu afinitatea lor faţă de carbon.

Prezenţa elementelor de aliere solubile în ferită influenţează pe mai multe planuri comportamentul oţelurilor aliate recoapte. În primul rând, punerea în soluţie a elementelor de aliere are ca efect o creştere a limitei elastice (R_e) şi a temperaturii de tranziţie fragil-ductil ($TK_{3,5}$). În al doilea rând, elementele gamagene coborând punctul critic A_3 conduc la o micşorare a mărimii grăuntelui de ferită, cu efecte pozitive asupra limitei elastice şi a rezilienţei, iar elementele alfagene având efect invers.

În al treilea rând, elementele de aliere, formând carburi fragile la limitele grăunţilor cristalini, fragilizează oţelul.

În acelaşi timp, este de menţionat faptul că anumite elemente chimice, cum este manganul, diminuează susceptibilitatea la fragilizare în urma deformării plastice la rece (ecruisarea). Această influenţă se datorează faptului că manganul, micşorând solubilitatea azotului la temperatura de 585 ^{0}C de la 0,1 % la 0,05 % şi a carbonului la temperatura de 727 ^{0}C de la 0,0218 % la 0,001 %, provoacă un consum deosebit de important de carbon şi de azot sub formă de carburi, respectiv sub formă de nitruri ce se depun la limita grăunţilor cristalini ai fazei mamă încă din timpul solidificării, astfel că, pe parcursul deformării plastice, probabilitatea formării de carburi şi nitruri în jurul inimei dislocaţiei este mult mai mică, iar blocarea dislocaţiei şi, implicit, ecruisarea sunt diminuate.

Spre deosebire de cazul feritei, prezenţa elementelor de aliere nu are o influenţă atât de variată asupra carburilor. Este de menţionat doar faptul că elementele de aliere gamagene, coborând temperatura transformării eutectoide, permit o diminuare a grosimii lamelelor de cementită aliată din perlită şi, în consecinţă, o îmbunătăţire a limitei elastice.

Elementele gamagene: nichel, mangan şi carbon au o influenţă pozitivă asupra rezistenţei mecanice, dar micşorează sudabilitatea. Atunci când sudabilitatea este importantă, se poate mări rezistenţa mecanică prin microalierea cu niobiu, titan şi vanadiu, care formează carburi foarte fine şi dispersate. Aceste carburi devin obstacole atât de importante în calea deplasării dislocaţiilor pe parcursul deformării plastice, încât se poate micşora conţinutul de carbon în oţelurile respective, aşa cum este cazul oţelurilor microaliate cu dispersoizi .

V.6. Structura fontelor

V.6.1. Structura fontelor nealiate

V.6.1.1. Structura fontelor nealiate albe

Formarea structurii fontelor nealiate albe se explică prin referire la diagrama Fe – Fe_3C.

Ledeburita este un agregat eutectic obținut prin transformarea izotermă la 1148 ^oC a soluției lichide conform reacției :

$$\text{Sol. lichidă}_{C} \rightarrow \underbrace{A_{E} + \text{Cem. I}}_{\text{Led I}} \quad (\text{cementită primară}) \qquad (63)$$

Led I

Acest constituient metalografic este format din insule de austenită într-o matrice de cementită primară. Conținutul procentual de masă a celor două faze componente ale ledeburitei se poate calcula astfel:

$$\%Fe\ C = \frac{masa\ \ cementitei}{masa\ \ ledebueite\ \ i} \cdot 100 = \frac{6{,}67 - 4{,}3}{6{,}67 - 2{,}11} \cdot 100 = 52\%$$

$$\%A = \frac{masa\ \ austenitei}{masa\ \ ledeburite\ \ i} \cdot 100 = \frac{4{,}3 - 2{,}11}{6{,}67 - 2{,}11} = \% \qquad (64)$$

In intervalul de temperatură 1148 – 727 ^oC, austenita dizolvă tot mai puțin carbon (excesul de carbon formează cu fierul cementită secundară), iar la 727 ^oC atinge poziția punctului eutectoid (% C =0,77), când se transformă integral în perlită. Din acest motiv, ledeburita obținută la temperatura ambiantă se deosebește de cea provenită din reacția eutectică şi este denumită ledeburită transformată (R_m = 10 daN / cm^2 ; $A_r \approx 0$; HB > 450).

In concluzie se poate afirma că microstructura fontelor albe, indiferent de conținutul de carbon, este formată dintr-o matrice de cementită (primară sau secundată) şi colonii de perlită de formă dendritică (provenite din austenita proeutectică) sau de forma unor insule (provenite din austenita eutectică) .

Datorită prezenței masive a cementitei, fontele albe sunt dure şi fragil, motiv pentru care utilizarea lor este restrânsă (bile de moară, fălci de concasor).

V.6.1.2. Structura fontelor cenuşii nealiate

Formarea structurii fontelor cenuşii nealiate se explică prin referire la diagrama Fe – Cg.

Grafitul cristalizează în sistemul hexagonal şi rezistența sa mecanică este practic nulă şi, în consecință, la fontele cenuşii scad valorile rezistenței la tracțiune, ale modulului de elasticitate şi ale plasticității cu cât, la aceeaşi masă metalică de bază , creşte cantitatea de grafit, iar, la aceeaşi masă metalică de bază şi aceeaşi cantitate de grafit, aceleaşi valori menționate anterior scad dacă forma grafitului este mai puțin rotundă (efectul de masă a fisurării creşte).

In diagrama Fe – grafit, la temperatura de 1153 ^oC, are loc reacția eutectică:

Sol. lichidă $_{C'}$ → A $_{E'}$ + grafit $_{I}$ (grafit primar) (65)

Eutectic anormal $_{I}$ ($E_{ie\,I}$)

Conţinutul procentual de grafit din eutectic (G_{ie}) se poate calcula cu ajutorul regulii segmentelor inverse:

$$\%G_{ie} = \frac{masa\ grafitului}{masa\ eutecticul\ ui} \blacksquare\blacksquare\blacksquare = \frac{, \quad - \blacksquare; \blacksquare\blacksquare}{\blacksquare\blacksquare\blacksquare - \blacksquare;} \quad = \blacksquare; \quad \% \qquad (66)$$

şi reprezintă 7,7% din volumul eutecticului.

Un astfel de eutectic, la care o fază este net preponderentă comparativ cu cealaltă, este denumit eutectic anormal.

Deoarece eutecticul şi eutectoidul din diagrama stabilă a sistemului de aliaje Fe-C sunt anormali, ei nu apar distinct la microscop decât în condiţii cu totul speciale de pregătire a probelor metalografice, atunci se consideră că, la

temperatura ambiantă, aceste aliaje prezintă numai doi constituienţi metalografici şi anume ferită şi grafit, cu excepţia aliajelor cu % < 0,001, care conţin numai ferită.

Structura fontelor cenuşii este influenţată şi de o eventuală tranziţie din diagrama stabilă în diagrama metastabilă.

Tranziţia din diagrama stabilă în diagrama metastabilă se poate produce la o temperatură cuprinsă între 1153 ^{0}C şi 738 ^{0}C, când factorii ce influenţează grafitizarea (viteza de răcire, conţinutul de C, Si etc.) devin inoperanţi şi aliajul respectiv se răceşte conform diagramei metastabile. Conţinutul de carbon al austenitei la care are loc tranziţia din diagrama stabilă în diagrama metastabilă poate fi în zona I, II sau III (Fig 76) şi determină masa metalică a fontei cenuşii.

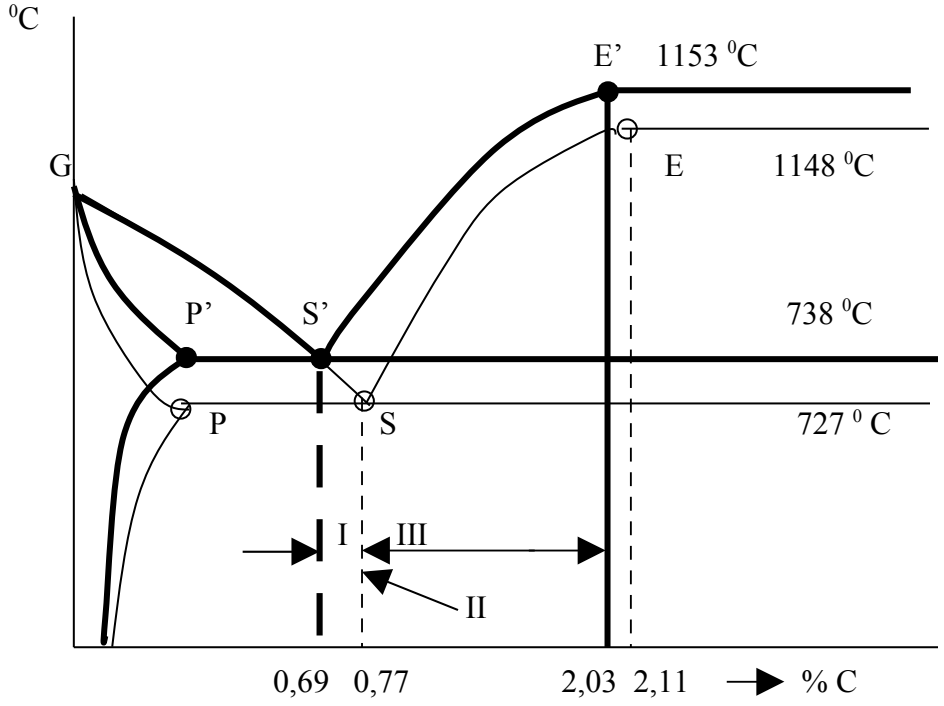


Fig. 76
Tranziția din echilibrul stabil în echilibrul metastabil al fontelor cenuşii

Structura fontelor conține suma constituenților metalografici:

-de înaintea tranziției:

-Eic_{an} în cazul fontelor hipoeutectice (2,03 < % C > 4,25);

-Eic_{an} în cazul fontei eutectice (% C = 4,25);

-Eic_{an} + Cg_I în cazul fontelor hipereutectice (% C > 4,25);

-şi de după tranziție:

-F + P + Cem_{III} la tranziția din zona I (zona oțelurilor hipoeutectoide);

-P la tranziția din zona II (zona oțelurilor eutectoide);

-F + Cem_{II} din zona III (zona oțelurilor hipereutectoide);

Deoarece austenita din Eic_{an} se transformă în timpul tranziției, rezultă că din Eic_{an} rămâne vizibil numai grafitul (Cg_I).

De asemenea, deoarece prezența cementitei secundare şi terțiare este insignifiantă, rezultă că masa metalică a fontelor cenuşii la care apare tranziția poate fi:

-ferito-perlitică;

-perlitică.

În general, o viteză mărită de răcire diminuează grafitizarea, astfel încât compoziția chimică joacă un rol mai puțin important decât la oțeluri.

Viteza de răcire este determinată de:

-conductivitatea termică a aliajului;

-temperatura de turnare;

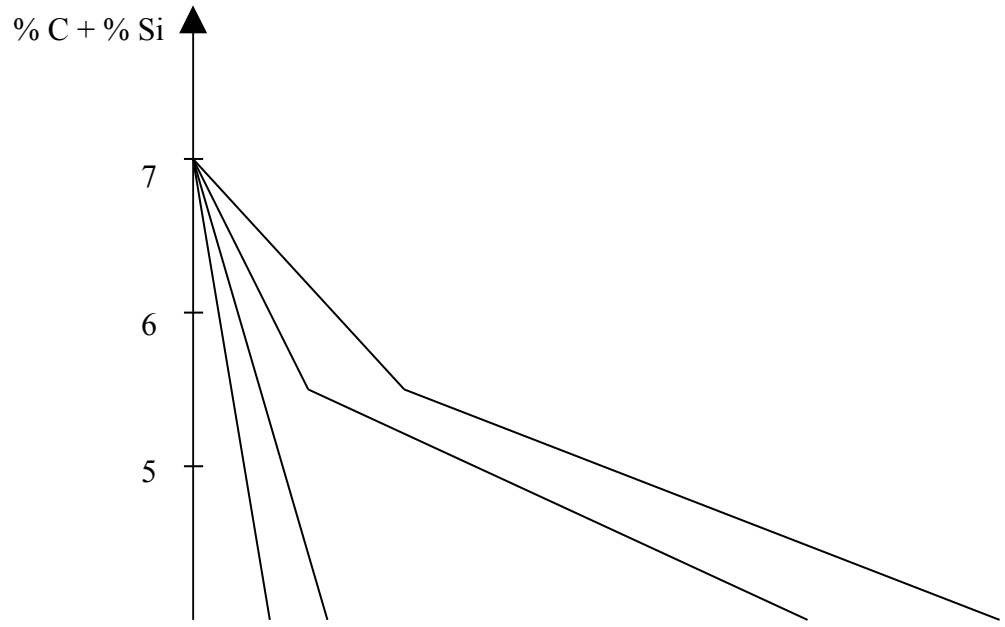
-temperatura formei de turnare;

-conductivitatea termică a formei de turnare;

-grosimea peretelui piesei turnate;

-configurația piesei.

Natura posibilă a masei metalice unei bare rotunde turnate în amestec de formare este dată în diagrama din figura 77.



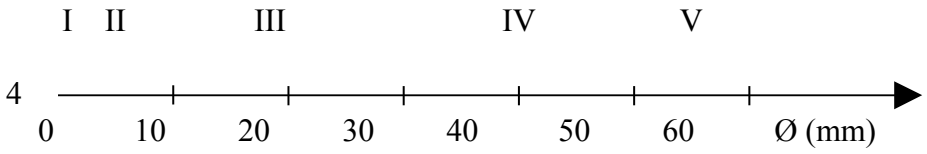


Fig. 77.
Natura masei metalice a unei bare turnate în amestec de formare:
I-fontă albă; II-fontă pestriță; III- fontă cenuşie perlitică;
IV- fontă cenuşie ferito-perlitică; V- fontă cenuşie feritică.

Fonta cenuşie perlitică are rezistența la rupere cea mai mare.

Grafitul are o influență deosebită asupra proprietăților mecanice ale fontelor cenuşii prin:

-formă;
-mărime;
-distribuție;
-cantitate.

Forma grafitului poate fi:
-lamelară (fonta cenuşie obişnuită);
-vermiculară (fonta vermiculară);
-în cuiburi (fonta maleabilă);
-sferoidală (fonta nodulară).

Prezența grafitului:
-diminuează secțiunea efectivă;
-constituie o amorsă de fisură;
-măreşte prelucrabilitatea prin aşchiere;
-măreşte capacitatea de amortizare a vibrațiilor.

Cu cât forma grafitului este mai sferică, cu atât efectul de amorsă de fisură este mai mic.

Capacitatea de amortizare a vibrațiilor este maximă în cazul grafitului lamelar grosolan într-o matrice feritică.

V.6.2. Structura fontelor aliate

Fontele aliate au o importanță mult mai scăzută decât oțelurile aliate. Elementele de aliere din fonte au, pe lângă efect alfagen sau gamagen, şi un efect:

-grafitizant (Al, C, Cu, Ni, Si, Ti, Zr);
-antigrafitizant (Cr, Mo, Mn, S, V, W, B, Se, Te).

Elementele antigrafitizante stabilizează carburile care se plasează, de obicei, la limita grăunților de ferită.

V.7. Tratamentele termice ale oțelurilor

V.7.1. Transformări izoterme principale în stare solidă ale oțelurilor

Transformările izoterme principale ale unui oțel nealiat eutectoid sunt prezentate în figura 78.

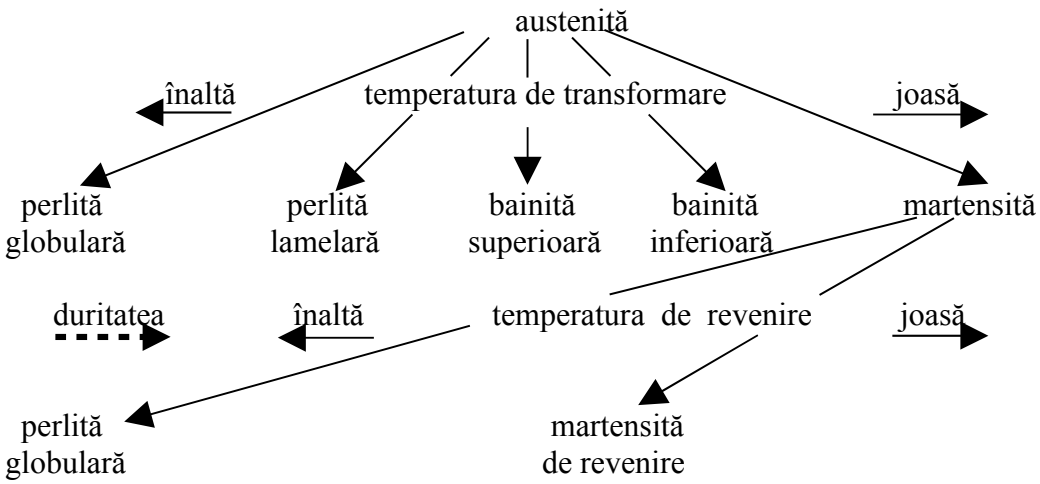


Fig.78
Transformările izoterme principale ale unui oțel nealiat eutectoid

Cu excepția perlitei, ceilalți constituenți metalografici obținuți la răcirea izotermă a austenitei sunt în afară de echilibru.

V.7.2. Transformările austenitei la răcirea izotermă

Martensita este constituentul metalografic cel mai dur dintre constituenții formați la răcirea austenitei. Duritatea martensitei depinde de conținutul de carbon, astfel că martensita cu 0,4 % C are o duritate de aproximativ 70 HRC la care este asociată o rezilienţă deosebit de mică. Structura cristalină tipică a martensitei este tetragonală cu volum centrat, la care ioni de fier ocupă nodurile rețelei, iar atomii de carbon se plasează în poziții interstițiale pe direcția Oz
(soluție solidă interstițială de carbon în fier tetragonal cu volum centrat). Raportul de tetragonalitate (c / a) este aproximat de relația :

$$\frac{c}{a} = 1 + 0{,}045\ (\%C) \qquad (67)$$

Transformarea izotermă a austenitei în martensită (transformarea martensitică) are următoarele caracteristici:

-nu se realizează prin difuzie;

-se realizează la răcirea austeniteă începând de la o anumită temperatură(M_s: martensite start) şi se termină la o temperatură care nu a fost determinată cu exactitate (M_f: martensite finish), dar care poate fi utilizată ca punct de referință;

-grăunții de martensită conțin acelaşi număr de ioni ca şi microvolumele de austenită din care au apărut, dar au volum mai mare;

-tensiunile care apar la apariția grăunții de martensită opresc transformarea, astfel că o parte din austenită rămâne netransformată (austenită reziduală);

-continuarea transformării se produce printr-o nouă scădere a

temperaturii, astfel că la fiecare temperatură există o anumită proporţie de austenită transformată în martensită;

-o menţinere izotermă nu duce la creşterea grăunţilor de martensită deja formaţi, dar poate avea următoarele efecte:

-stabilizarea destul de importantă a austenitei reziduale la răciri ulterioare;

-transformarea austenitei reziduale în alt constituent metalografic, de exemplu în bainită.

Perlita este un amestec mecanic de lamele alternante de ferită şi cementită secundară.

Transformarea izotermă a austenitei în perlită (transformarea perlitică) are următoarele caracteristici:

-se realizează prin difuzie;

-cu cât temperatura de transformare este mai joasă, cu atât distanţa dintre lamele se micşorează, iar duritatea creşte.

Uneori, perlita cu lamele foarte fine mai este denumită, în ordinea descrescătoare a temperaturii de formare, sorbită şi troostită.

Bainita este de două tipuri:

-bainită superioară;

-bainită inferioară.

Bainita superioară este formată din plăci de ferită între care precipită plachete orientate aproape paralel de cementită (Fe_3C). Prezenţa plachetelor de cementită conferă bainitei superioare o rezistenţă la şoc mediocră. Bainita inferioară este formată din ace de ferită în interiorul cărora precipită carbura ε ($Fe_{2,4}C$) sub formă de particule bine dispersate. Prezenţa particulelor fine de carburi în ferită conferă bainitei inferioare un compromis deosebit de avantajos între duritate şi rezilienţă.

Transformarea izotermă a austenitei în bainită (transformarea bainitică) are următoarele caracteristici:

-se realizează în două etape:

-fără difuzie: prin formarea feritei suprasaturate în carbon sub formă de:

-plachete;

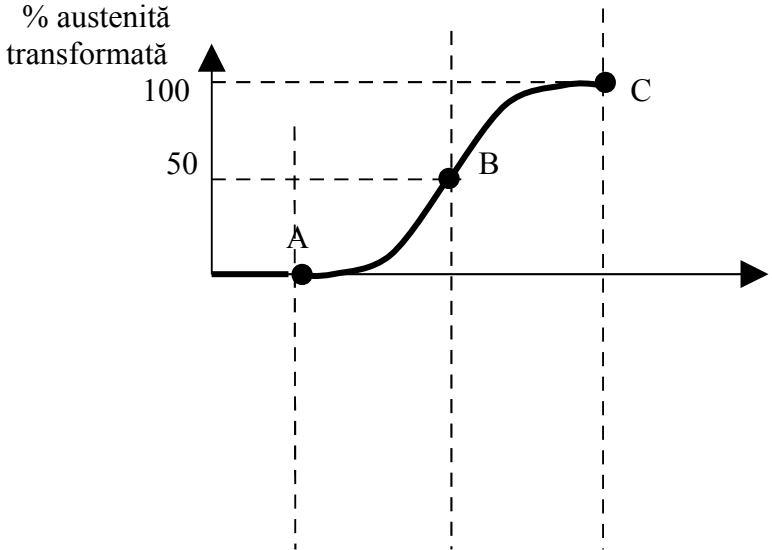
-ace;

-prin difuzie: prin precipitarea:

-plachetelor de cementită între plachetele de ferită;

-particulelor de carbură ε în interiorul acelor de ferită.

-cu cât temperatura de transformare izotermă este mai joasă, cu atât probabilitatea de formare a bainitei inferioare este mai mare.



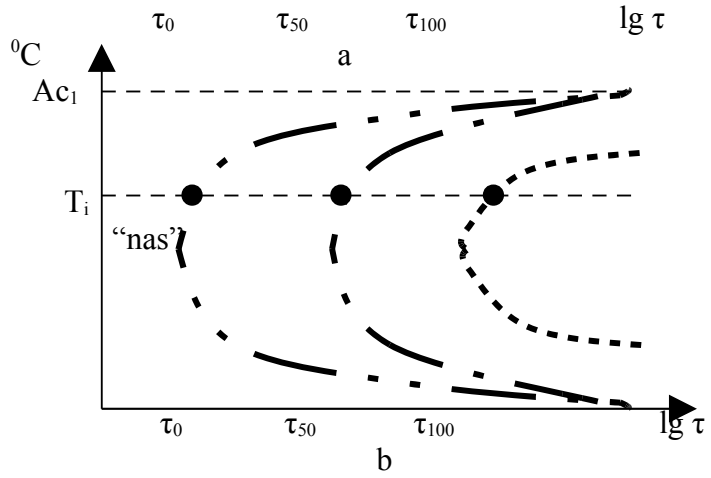


Fig.79

Construcția schematică a unei diagrame TTT:
a-curba transformării austenitei la temperatura T_I; b-curbe izoaustenitice.
A-început de transformare a austenitei; C-sfârşit de transformare a austenitei.

Transformările cu difuzie ale austenitei pot fi reprezentate sub forma unor curbe de transformare (Fig. 79.a). La temperatura T_i austenita:

-începe transformarea după o perioadă de incubație τ_0 (punctul A);

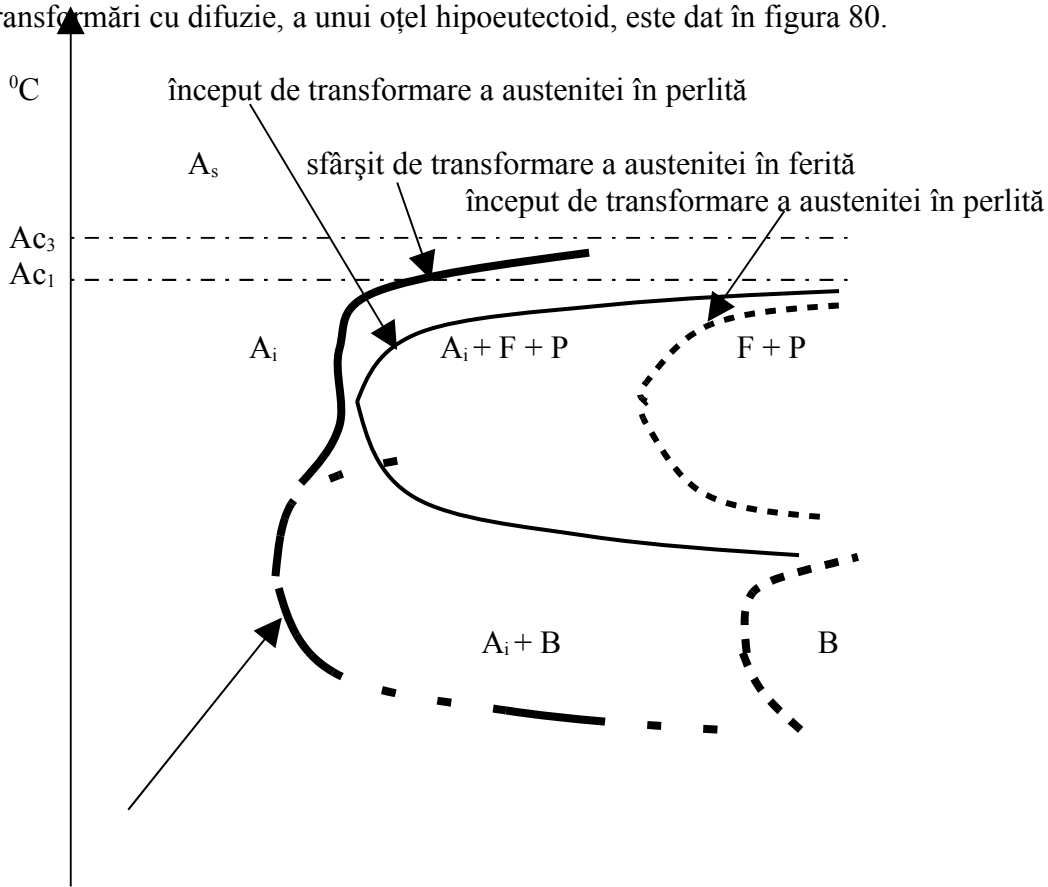
-se transformă în proporție de 50 % după timpul τ_{50} (punctul B);

-se transformă în proporție de 100 % după timpul τ_{100} (punctul C).

Pentru un interval de temperatură se obțin curbe izoaustenitice pentru diferite proporții de transformare ale austenitei (Fig.79.b). Aceste curbe prezintă un “nas”, corespunzător duratei celei mai mic de transformare.

Reprezentarea curbelor izoaustenitice ale celor două tipuri de transformare cu difuzie (perlitică şi bainitică), precum şi ale transformării fără difuzie (martensitică) constituie diagrama TTT (timp, temperatură, transformare).

Un exemplu de diagramă tipică TTT cu două “nasuri”, corespunzătoare celor două transformări cu difuzie, a unui oțel hipoeutectoid, este dat în figura 80.



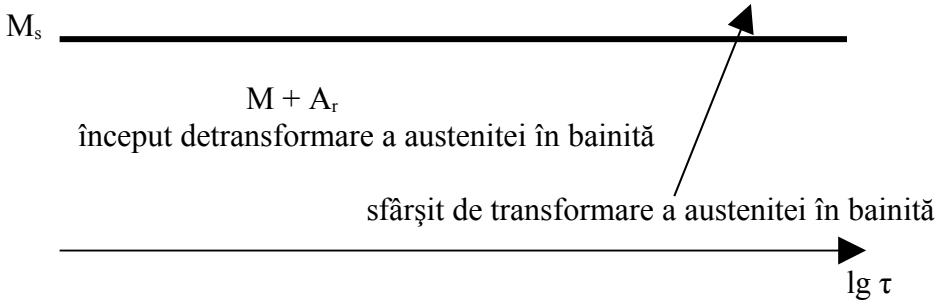


Fig.80.
Diagramă TTT tipică a unui oţel hipoeutectoid:
A_s – austenită stabilă; A_i – austenită instabilă; A_r – austenită reziduală;
P - perlită; B - bainită; M - martensită.

Domeniile perlitei şi bainitei din diagrama TTT pot fi separate (cu histerezis de transformare) sau suprapuse.

V.7.3. Transformările austenitei la răcirea anizotermă

De cele mai multe ori, răcirea austenitei are loc anizoterm şi diferit de la o zonă la alta a secţiunii peretelui piesei din oţel. Transformările austenitei care au loc pe parcursul răcirii anizoterme cu diferite viteze pot fi reprezentate în diagrama TRC (transformări la răcire continuă).

Un exemplu de diagramă tipică TRC a unui oţel hipoeutectoid este dat în figura 81.

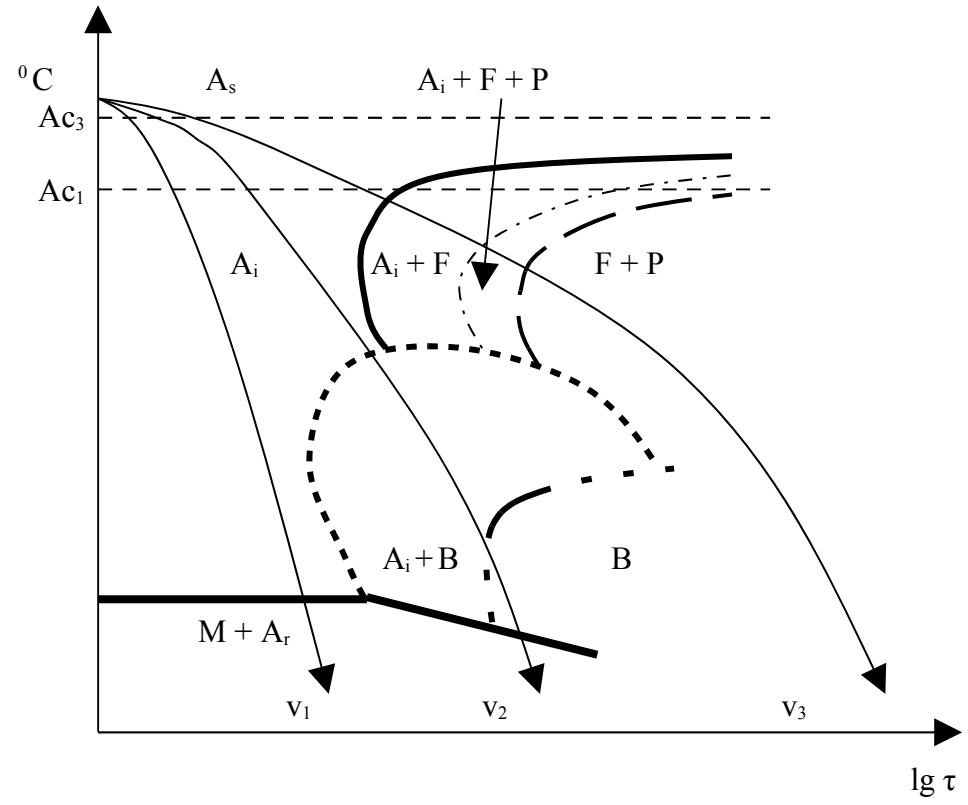


Fig. 81.
Diagramă TRC tipică a unui oțel hipoeutectoid:
A_s – austenită stabilă; A_i – austenită instabilă; A_r – austenită reziduală;
P-perlită; B-bainită; M-martensită.

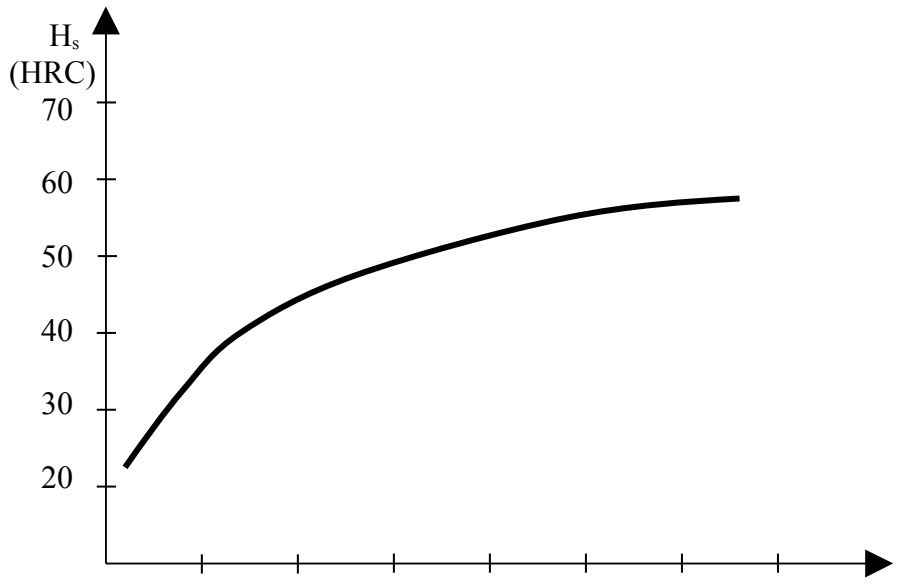
Vitezele de răcire sunt astfel:

$$v_1 > v_2 > v_3 \qquad (68)$$

Constituenții metalografici la temperatura ambiantă sunt următorii:
-la viteza v_1: martensită şi austenită reziduală;
-la viteza v_2: bainită;
-la viteza v_3: ferită şi perlită.
În diagrama TRC, fiecărei curbe de răcire îi corespunde o anumită duritate.
Diagramele TRC permit, în mod direct sau prin interpolare între două curbe vecine, determinarea vitezei minime de răcire pentru a se evita formarea altor constituenți metalografici în afara martensitei.

V.7.4. Călibilitatea

Călibilitatea este capacitatea unui material metalic de a căpăta, în urma unei căliri, o anumită duritate pe o anumită adâncime de la suprafața produsului călit. În mod practic, pentru a facilita determinarea, se consideră adâncimea până la care materialul are o duritate semimartensitică. Duritatea semimartensitică corespunde unei structuri formate din 50 % martensită şi 50 % alți constituenți metalografici. Altfel spus, un material metalic are o călibilitate mai bună decât altul dacă, în aceleaşi condiții de călire, adâncimea de la suprafața piesei (l_s) până la care se găseşte o duritate cel puțin egală cu duritatea semimartensitică, este mai mare decât a celuluilalt.
Duritatea semimartensitică a unui oțel călit depinde de conținutul de carbon (Fig. 82).



0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 % C

Fig.82.
Influența conținutului de carbon asupra durității semimartensitice

Călibilitatea este o consecință directă a mărimii perioadei de incubație a transformării austenitei în perlită sau bainită. Cu cât această perioadă este mai mare, cu atât creşte probabilitatea ca austenita să se transforme în martensită şi astfel, duritatea semimartensitică să se realizeze la o distanță cât mai mare de la suprafața piesei.

Factorii care influențează, în mod deosebit, călibilitatea sunt:

- elementele de aliere;
- incluziunile;
- mărimea grăuntelui de austenită.

Elementele de aliere, cu excepția cobaltului, întârzie germinarea carburilor şi, în consecință, favorizează călibilitatea.

Incluziunile constituie germeni exogeni de formare a carburilor, înrăutățind, astfel, călibilitatea.

Cu cât mărimea grăuntelui de austenită creşte, cu atât călibilitatea este mai bună, dar asupra acestui factor nu se poate acționa dearece s-ar înrăutăți proprietățile mecanice.

Principalele metode pentru determinarea călibilității sunt următoarele:

-metode experimentale:

-metoda călirii integrale;
-metoda călirii frontale;
-metoda diagramei TRC;

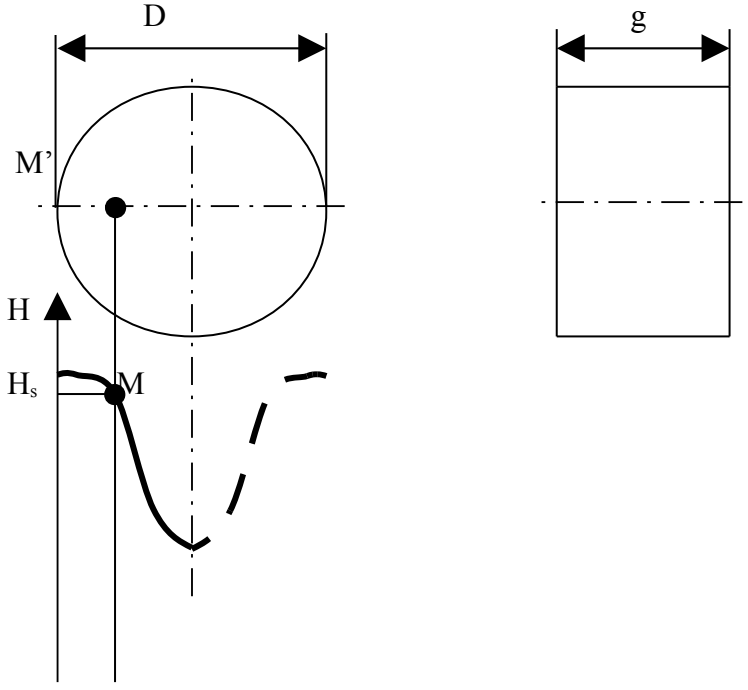
-metode de calcul:

-metoda diametrului critic.

Metoda călirii integrale este o metodă distructivă şi prezintă inconvenientul că necesită secționarea epruvetei călite, dat fiind duritatea ei ridicată.

În acest scop se călește o bară de diametru D şi lungime L = (4 - 6) D dintr-un material la care se cunoaşte compoziția chimică şi se prelevează din mijlocul ei un disc de grosime g = D / 2.

Se detemină duritatea (H) şi se trasează curba H(r) ca în figura 83.



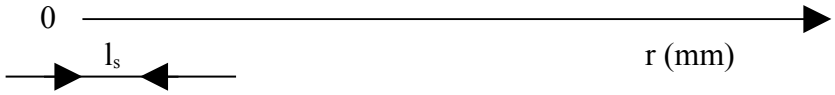


Fig. 83
Curba de pătrundere a călirii la o bară rotundă din oțel:
D - diametrul epruvetei; g - grosimea epruvetei; H_s - duritate semimartensitică.

Orizontala dusă prin valoarea durității semimartensitice intersectează curba de pătrundere a călirii în punctul M. Distanța l_s de la punctul 0 la verticala din M este tocmai determinarea cantitativă a călibilității.

Metoda călirii frontale (Jominy) este descrisă de STAS 4930-80 şi constă în încălzirea unei epruvete cu anumite dimensiuni (Fig. 84) la o temperatură corespunzătoare mărcii de oțel cercetate, urmată de o călire frontală în apă numai la un capăt (Fig. 85). Epruveta astfel călită se supune rectificării de-a lungul generatoarei pentru a realiza două suprafețe plane, pe care se fac încercări de duritate.

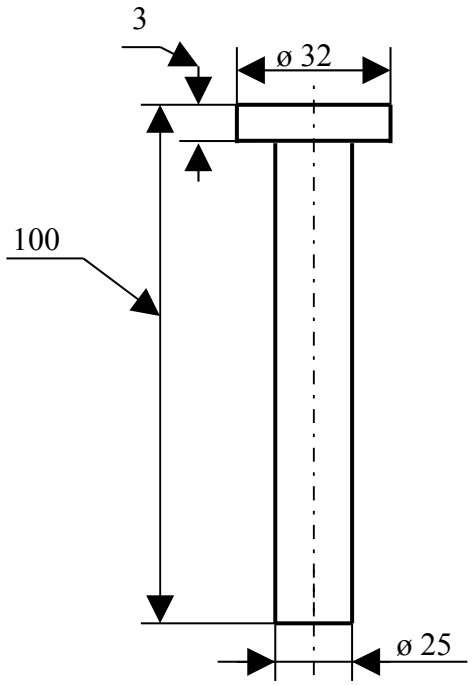
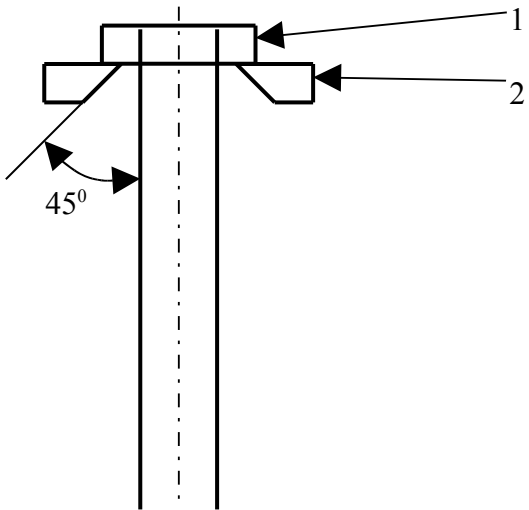


Fig.84.
Forma şi dimensiunile epruvetei Jominy



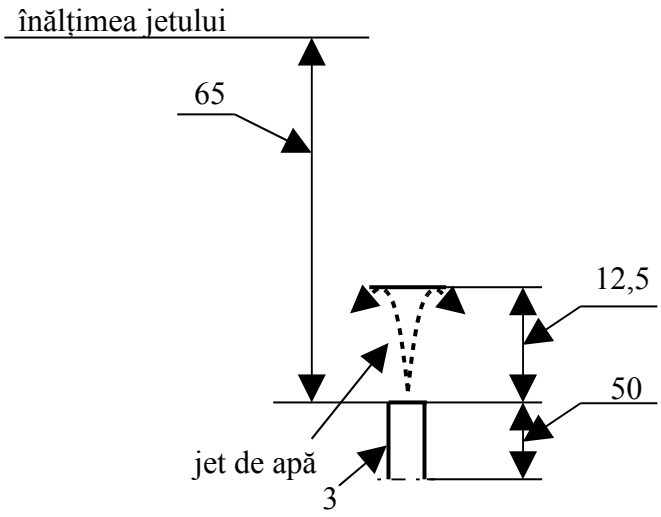


Fig.85
Forma şi dimensiunile epruvetei Jominy:
1-epruvetă; 2-dispozitiv de fixare a epruvetei, 3-conductă.

Cu valorile obținute se trasează curba de călibilitate Jominy (Fig.86), obținându-se distanța de la capătul călit (l_j).

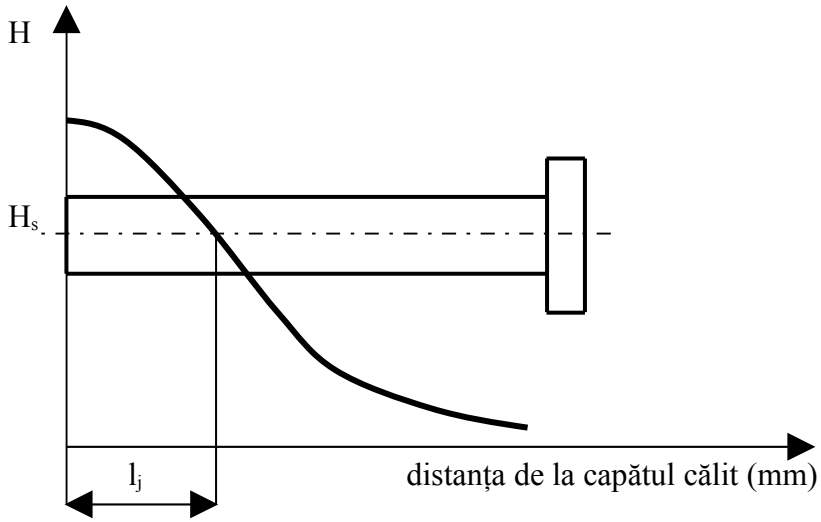


Fig.86
Curba de călibilitate Jominy

Prin compararea curbelor de călibilitate ale două mărci de oțeluri se poate aprecia calitativ călibilitatea. Astfel, dacă $l_{j1} > l_{j2}$, atunci oțelul de marca 1 are o călibilitate mai bună decât oțelul 2.

De asemenea, în standardele de materiale sunt menţionate benzi de călibilitate Jominy pentru diferite oțeluri, limitate de curbele de călibilitate Jominy superioare şi inferioare (Fig. 87). Astfel, unui oțel de o anumită marcă trebuie să-i corespundă o curbă de călibilitate Jominy, care să se înscrie în banda de călibilitate prescrisă de standardul respectiv.

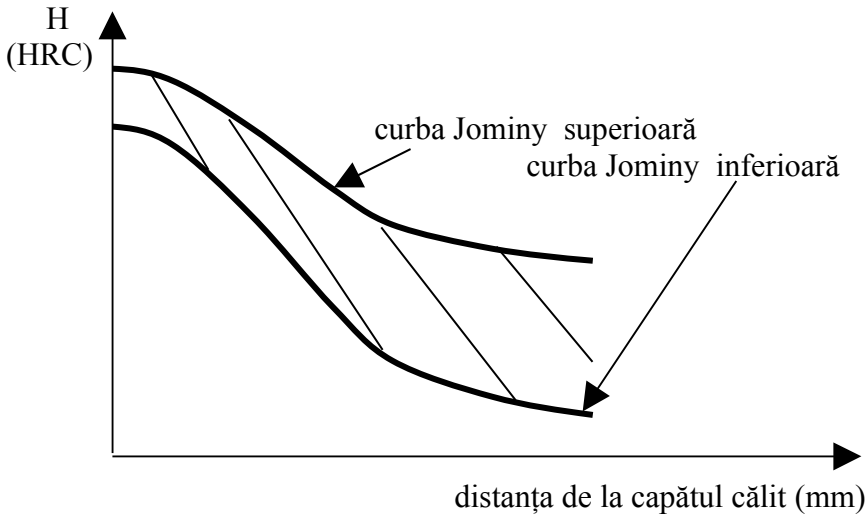


Fig. 87
Bandă de călibilitate Jominy

În literatura de specialitate sunt propuse diferite diagrame (Fig. 88) şi abace pentru determinarea adâncimii de la suprafața piesei (l_s) în funcție de distanța de la capătul călit (l_j).

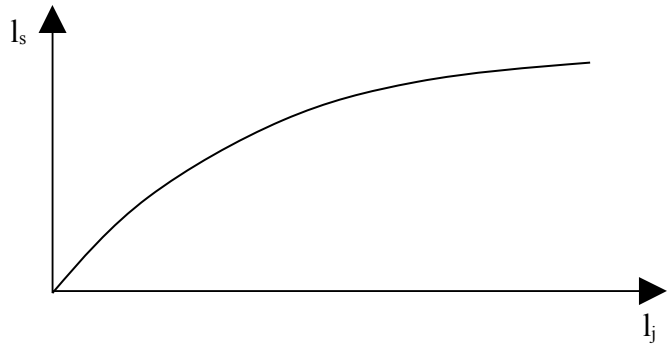


Fig. 88
Relația între distanța de la capătul călit (l_j) şi adâncimea de la suprafața piesei (l_s) la unele oțeluri.

Metoda de determinare prin calcul a călibilității (Grossmann) utilizează relația:

$$D_i = D_b F_1 F_2 F_3 \dots F_n \qquad (69)$$

în care: D_i este diametrul critic ideal (mm);

D_b – diametrul de bază;

$F_1, F_2, F_3 \dots F_n$ - factorii de multiplicare a călibilității corespunzători fiecarui element chimic E_1, E_2, E_3, … E_n.

Diametrul de bază este diametrul unei bare din oțel nealiat, care capătă în axa sa o duritate semimartensitică (H_s) în urma unei căliri ideale (Fig. 89).

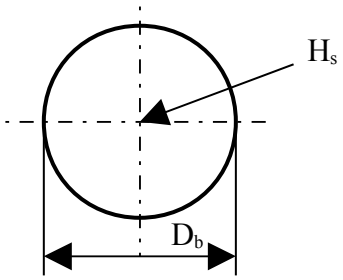


Fig. 89
Ilustrarea diametrului de bază

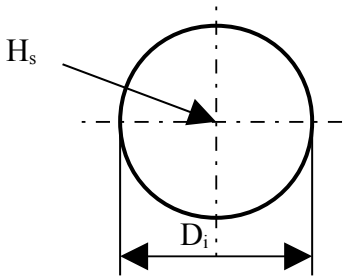


Fig. 90
Ilustrarea diametrului critic ideal

Diametrul critic ideal este diametrul unei bare din oțel aliat, care capătă în axa sa o duritate semimartensitică (H_s) în urma unei căliri ideale (Fig. 90).

Diametrul de bază se determină în funcție de conținutul de carbon şi de mărimea grăuntelui (Fig.91).

Factorul de multiplicare a călibilității se determină în funcție de conținutul fiecărui element chimic (Fig. 92).

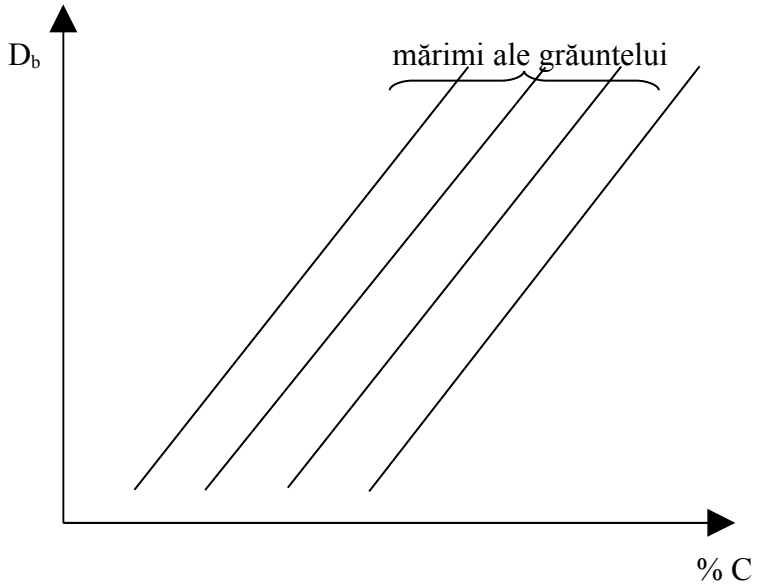
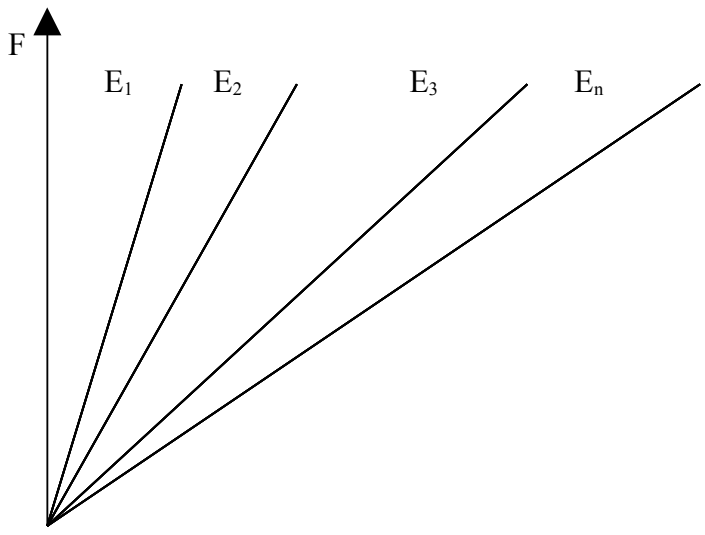


Fig.91
Diagrama diametrului de bază în funcție de mărimea grăuntelui şi conținutul de carbon



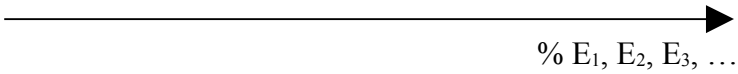


Fig. 92
Diagrama factorilor de multiplicare F_1, F_2, F_3, … F_n în funcție de conținutul fiecărui element de aliere E_1, E_2, E_3, … E_n.

Călirea ideală este călirea realizată într-un mediu ideal, cu o putere de răcire infinită, în urma căreia piesa este răcită instantaneu.

Diametrul real este diametrul unei bare din oțel aliat, care capătă în axa sa o duritate semimartensitică (H_s) în urma unei căliri reale (Fig. 93).

Diametrul real se determină în funcție de diametrul critic ideal şi de puterea mediului de răcire (Fig. 94).

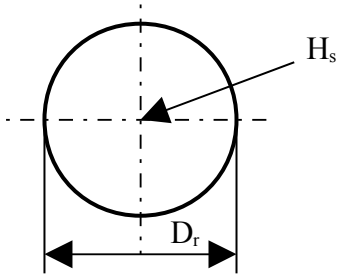
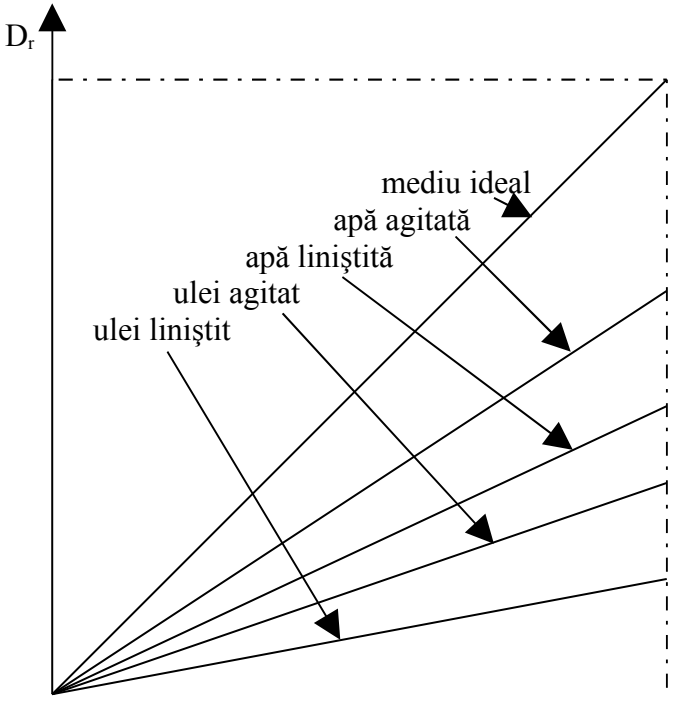


Fig. 93
Ilustrarea diametrului real



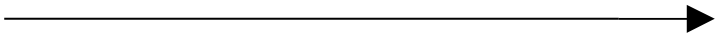


Fig. 94
Diagrama relației dintre diametrul critic real şi diametrul critic ideal.

Rezultă că adâncimea de la suprafața piesei (l_s) este:

$$l_s = \frac{D_r}{2} \qquad (70)$$

V.7.5. Transformarea martensitei şi austenitei la încălzire (revenire)

Martensita suferă progresiv următoarele transformări:

-rearanjarea atomilor în rețeaua cristalină, în special la temperatură scăzută (de la-80 ^{0}C la 100 ^{0}C), numită generic îmbătrânire (aging);

-precipitarea carburilor, în special la temperatură ridicată (de la100 ^{0}C la Ac_1), numită generic revenire (tempering).

Îmbătrânirea constă în rearanjarea atomilor de carbon din martensită prin formarea treptată de grupuri de tot mai odonate.

La un oțel slab aliat în elemente carburigene, carburile formate la creşterea temperaturii sunt în ordine:

-de la 100 ^{0}C la 200 ^{0}C carburile η (Fe_2C) şi ε ($Fe_{2,4}C$) sub formă de particule aliniate în interiorul martensitei cu un grad de tetragonalitate tot mai scăzut;

-de la 200 ^{0}C la Ac_1 carburile χ (Fe_5C_2) şi θ sau cementita (Fe_3C) în cadrul unor agregate ferită-carburi.

Cementita apare sub formă de plachete de aproximativ 100 nm, după care suferă succesiv fenomenele de:

-sferoidizare: trecerea treptată la o formă cât mai sferică a particulelor;

-coalescență: unirea şi creşterea treptată a particulelor.

La un oțel bogat aliat cu elemente carburigene (Cr, Mo, V, W) carburile formate la creşterea temperaturii sunt în ordine:

-de la 100 ^{0}C la 200 ^{0}C carburile η (Fe_2C) şi ε ($Fe_{2,4}C$) sub formă de particule aliniate în interiorul martensitei cu un grad de tetragonalitate tot mai scăzut;

-de la 200 ^{0}C la 500 ^{0}C carburile χ (Fe_5C_2) şi θ (Fe_3C) în cadrul unor agregate ferită-carburi;

-de la 500 ^{0}C la Ac_1: carburi aliate prin:

-înlocuirea parțială sau totală a cementitei;

-germinare directă.

Carburile aliate sunt mai fine şi mai rezistente la coalescență. Ele întârzie înmuierea oțelurilor şi chiar provoacă o durificare secundară dacă sunt în cantitate mare.

Ferita apare începând cu temperatura de 100 ^{0}C şi formează cu unele carburi (η, ε şi χ) o serie de agregate cristaline numite generic martensită de revenire (amestec mecanic de ferită alungită şi carburi η, ε şi χ).

La temperaturi ridicate de revenire, odată cu apariția cementitei, ferita formează cu cementita sferică (globulară) un agregat cristalin numit perlita globulară (amestec mecanic de ferită echiaxială şi cementită sferică)

La oţelurile nealiate, austenita reziduală se transformă în bainită la o temperatură cuprinsă între 200 şi 350 ^{0}C, ca în cazul unei răciri izoterme la aceeaşi temperatură.

În cazul oţelurilor bogat aliate , la care perioada de incubaţie este mai mare decât durata obişnuită de revenire (1 oră), transformarea la încălzire a austenitei reziduale (A_{r0}) în agregate cristaline de tip bainită nu mai poate avea loc. La temperatura de 500-600 ^{0}C, precipitată particule fine de carburi aliate, asfel că austenita devine mai săracă în carbon şi elemente de aliere şi cu un punct M_s mai ridicat. Dacă M_s este mai mare de 0 ^{0}C, pe parcursul răcirii la temperatura ambiantă se formează martensită, numită martensită secundară şi austenită reziduală mai săracă în carbon şi în elemente de aliere (A_{r1}). La o nouă revenire, această austenită (A_{r1}) are o probabilitate mai mare să se transforme în bainită. La unele oţeluri este necesar să se efectueze cinci reveniri succesive pentru eliminarea martensitei şi austenitei reziduale.

V.7.6. Clasificarea tratamentelor termice după scop

O posibilă clasificare a tratamentelor termice ale oţelurilor după scopul lor este următoarea:

-producerea unor modificări ale naturii constituenţilor metalografici fără schimbarea compoziţiei chimice:
- -durificarea prin călire;
- -durificarea prin precipitare;
- -normalizarea;
- -recoacerea:
  - -completă;
  - -subcritică;
  - -tratamentul prin frig;

-producerea modificării mărimii, formei sau distribuţiei constituenţilor metalografici, fără modificarea naturii lor:
- -recoacerea de globulizare;
- -afinarea structurală;
- -recoacerea de creştere a grăunţilor cristalini;
- -recristalizarea;

-producerea unor modificări concomitente ale naturii şi formei constituenţilor metalografici:
- -tratamentele termomecanice;

-formarea unei structuri favorabile prelucrării prin aşchiere sau deformării plastice la rece:
- -înmuierea;
- -patentarea;
- -revenirea;

-eliminarea sau reducerea tensiunilor interne, cu modificarea structurii:
- -revenirea de detensionare;

-reducerea tensiunilor interne fără modificarea structurii:

-detensionarea;

-restabilirea cel puțin parțială a proprietăților fizice sau mecanice de înainte de ecruisare, fără modificarea aparentă a structurii:

-restaurarea;

-atenuarea neomogenității chimice:

-omogenizarea;

-obținerea unui aspect deosebit al suprafeței:

-înălbăstrirea;

-recoacerea albă;

-reducerea sau mărirea conținutului unor elemente chimice în stratul superficial (tratamente termochimice):

-aluminizarea (Al);

-borurarea (B);

-carbonitrurarea (C, N);

-carburarea (C);

-cianizarea (C, N);

-cromizarea (Cr);

-decarburarea (C);

-nitrurarea (N);

-silicizarea (Si);

-sulfizarea (S);

-sulfocarbonitrurarea (S, C, N);

-sherardizarea (Zn).

V.7.7. Fenomene care pot avea loc în timpul tratamentelor termice

Fenomenele care pot avea loc în timpul tratamentelor temice sunt următoarele:

-supraîncălzirea;

-arsura;

-decarburarea;

-deformarea;

-fisurarea.

Supraîncălzirea este încălzirea efectuată la o temperatură şi pentru o durată care produce o creştere exagerată a grăuntelui cristalin.

Arsura este o alterare ireversibilă a structurii şi a proprietăților provocate de un început de topire a limitelor de grăunte.

Decarburarea este micşorarea concentrației de carbon a stratului superficial.

Deformarea este variația formei sau a dimensiunilor inițiale.

Fisurarea poate apare, în special, la răcire şi compromite produsul respectiv.

V.7.8. Factorii care influențează tratamentele termice

Factorii care influențează tratamentele termice sunt următorii:

-ciclul termic;

-efectul de masă.

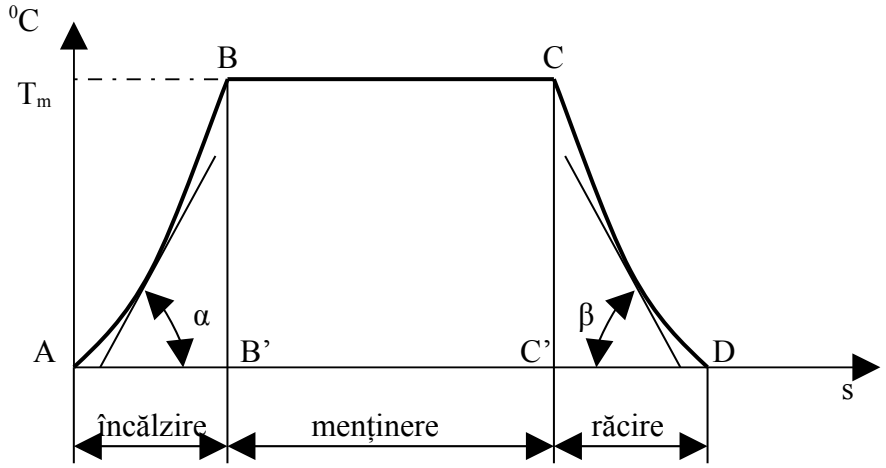


Fig. 95
Ciclogramă simplă de tratament termic.

Ciclul termic este evoluția temperaturii în timpul unui tratament termic. Reprezentarea grafică a ciclului termic este denumită ciclogramă. Ciclogramele pot fi simple (Fig. 95) sau complexe.

Viteza instantanee de încălzire ($v_{îi}$) este dată de relația:

$$v_{îi} = \operatorname{tg} \alpha \qquad (71)$$

Viteza instantanee de răcire (v_{ir}) este dată de relația:

$$v_{ir} = \operatorname{tg} \beta \qquad (72)$$

Viteza medie de încălzire ($v_{mî}$) este dată de relația:

$$v_{mî} = \frac{BB'}{AB'} \qquad (73)$$

Viteza medie de răcire (v_{mr}) este dată de relația:

$$v_{mr} = \frac{CC'}{C'D} \qquad (74)$$

Condițiile de tratament termic trebuie să fie fixate nu numai în funcție de proprietățile materialului metalic sau de caracteristicile mediului (conductivitate, termică, capacitate termică, temperatură, grad de agitație etc.), ci și de dimensiunile produsului respectiv. Efectul de masă se face simțit, în special, la răcire, când, local, nu se atinge viteza necesară scopului propus.

Din acest motiv trebuie să fie precizată una din următoarele temperaturi de încălzire :

-temperatura cuptorului;

-temperatura suprafeței piesei;

-temperatura unui anumit punct al suprafeței;
-temperatura unui anumit punct al secțiunii piesei.

V.7.9. Durificarea prin călire a oțelurilor

Călirea poate fi:
-în profunzime (volumică):
-clasică:
-simplă;
-întreruptă;
-izotermă:
-la martensită (martempering);
-la bainită (austempering);
-la temperaturi criogenice (tratamentul prin frig);

-superficială:
-cu flacără;
-prin inducție;
-cu electrolit;
-prin rezistență electrică de contact;
-cu plasmă;
-cu flux de electroni;
-cu laser.

Călirea simplă (într-un singur mediu de răcire) se realizează într-un mediu de răcire, care poate fi: apa, uleiul, medii sintetice, săruri topite, metale topite etc. Nu este recomandată pieselor mari din oțel sau oțelurilor cu un conținut mai mare de 0,8 % C, deoarece riscul apariției deformațiilor şi fisurilor este mare.

Călirea întreruptă (în două medii de răcire) se realizează la început într-un singur mediu, cu putere mare de răcire, pâna ce piesa ajunge la o temperatură puțin superioară punctului M_S şi, apoi, într-un mediu cu putere mai mică de răcire. În general, primul mediu este apa, iar al doilea mediu este uleiul.

Călirea izotermă la martensită (martempering) se realizează la început într-un mediu aflat la o temperatură puțin superioară punctului M_S. Durata de menținere în acest mediu este suficient de mare pentru a se obține o egalizare a temperaturii înainte de transformarea martensitică, dar mai mică decât perioada de incubație a transformării bainitice. Ulterior are loc răcirea până la temperatura mediului ambiant într-un alt mediu, care, de obicei, este aerul. Astfel, riscul de deformare şi de fisurare este mai mic, dar proprietățile mecanice sunt puțin inferioare celor obținute în urma călirii clasice.

Călirea izotermă la bainită (austempering) constă dintr-o răcire izotermă într-un mediu aflat la o temperatură puțin superioară punctului M_S, o menținere suficientă la această temperatură pentu egalizarea temperaturii în piesă şi desăvârşirea transformării austenitei în bainită. Ulterior are loc răcirea până la temperatura mediului ambiant într-un alt mediu, care, de obicei, este aerul. Bainita inferioară obținută are proprietățile mecanice tot atât de bune ca şi martensita de revenire, astfel încât revenirea nu mai este necesară. Reducerea riscului de deformare şi de fisurare este maximă în cazul acestei căliri.

Călirea la temperaturi criogenice (tratamentul prin frig) se aplică, în special, la oţelurile carbon cu peste 0,6 % C sau la oţelurile aliate care:

- conţin 8-12 % austenită reziduală după călirea clasică;
- au punctul M_s sub 0^o C.

Tratamentul prin frig constă dintr-o continuarea a călirii clasice pînă la temperaturi sub 0^o C, urmată de o încălzire în aer până la temperatura ambiantă. Durata de menţinere în mediul criogenic trebuie să asigure egalizarea temperaturii în piesă. Tratamentul prin frig asigură:

- creştera durităţii cu 2-10 HRC;
- o bună stabilitate dimensională.

Călirea superficială cu flacără se realizează cu ajutorul unui arzător cu gaz metan sau acetilenă, care execută o mişcare de translaţie relativă, urmat de un răcitor cu apă. Forma lor este conjugată pieselor de călit. Principalii parametri tehnologici ai călirii superficiale cu flacără sunt:

-temperatura flăcării;
-viteza de translaţie relativă;
-distanţa dintre arzător şi răcitor;
-distanţa dintre arzător şi piesă.

Călirea superficială prin inducţie poate fi:
-de medie frecvenţă (CMF);
-de înaltă frecvenţă (CIF).

În piesa introdusă în câmpul magnetic variabil se induc curenţi, care prin efect Joule-Lenz, generează căldură. Deoarece curenţii induşi se concentrează la suprafaţă, prin efect pelicular, încălzirea are loc în primul rând în straturile superficiale.

De cele mai multe ori, inductorul este format dintr-o ţeavă de cupru rotundă sau pătrată prin care circulă apa de răcire a inductorului şi de călire.

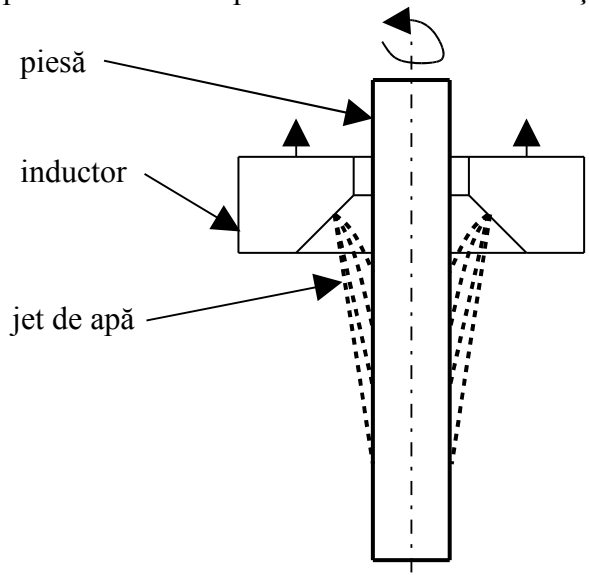


Fig. 96
Schema călirii succesive prin inducţie

Călirea prin inducție poate fi:
-simultană;
-succesivă.

Călirea simultană realizează călirea simultan, în toată piesa. Călirea succesivă realizează călirea succesiv, printr-o mişcare relativă între inductor şi piesă (Fig. 96).

Principalii parametri tehnologici ai călirii prin inducție sunt:
-frecvența curentului;
-adâncimea de călire;
-temperatura de încălzire;
-durata de încălzire;
-puterea specifică.

Călirea superficială cu electrolit se realizează într-o baie de elctrolit (Na_2CO_3, NaOH, Na_2SO_4, H_2O etc.) capabilă să se disocieze în H_2 şi O_2. Piesa este la catod, iar anodul este este o placă din oțel rezistent la coroziune. Suprafața anodului este mult mai mare decât a catodului pentru a se asigura o densitate mare de curent la catod. Stratul de hidrogen molecular din jurul catodului are o rezistență electrică foarte mare şi se încălzeşte la o temperatură de aproximativ 2000 ^oC. La întreruperea curentului electric, învelişul de hidrogen dispare şi piesa se căleşte superficial la contactul cu electrolitul.

Principalii parametri tehnologici ai călirii cu electrolit sunt:
-intensitatea curentului;
-concentrația electrolitului;
-durata de încălzire.

Călirea superficială prin rezistență electrică de contact se realizează prin trecerea unei role de cupru pe suprafața piesei. Deoarece rezistența de contact dintre rolă şi piesă este mult mai mare decât rezistența electrică a rolei sau a piesei, stratul superficial al piesei se încălzeşte. Răcirea se produce în jetul de apă trimis de un răcitor, care are o formă conjugată piesei şi este ataşat rolei. La trecerea rolei într-o poziție vecină, zona care a fost călită se poate reîncălzi parțial, suferind astfel o revenire, ceea ce face ca duritatea să fie neuniformă.

La metodele de călire cu fascicul de electroni, plasmă sau laser, sursa de căldură este un tun electronic, un plamatron , respectiv un generator laser.

V.7.10. Revenirea oțelurilor

Revenirea oțelurilor este tratamentul termic aplicat oțelurilor durificate prin călire. El este realizat printr-o încălzire la o temperatură sub Ac_1 şi asigură o anumită evoluție spre starea de echilibru.

Revenirea oțelurilor poate avea ca efect:

-reducerea tensiunilor interne, dacă temperatura de revenire este de până la 200 ^oC, caz în care tratamentul se numeşte revenire de detensionare (revenire la temperatură joasă);

-scăderea durității şi a rezistenței mecanice la un nivel dorit, însoțită de o ameliorare a ductilității, atunci când temperatura de revenire este mai mare de 200 ^{o}C, iar oțelul nu conține elemente carburigene, caz în care tratamentul se numeşte revenire obişnuită (revenire medie şi înaltă);

-o durificare numită secundară, atunci când:

-temperatura de revenire este destul de ridicată, iar oțelul conține elemente carburigene ale căror carburi precipită;

-oțelul conține austenită reziduală, care se transformă în:

-bainită în timpul încălzirii;

-martensită în timpul răcirii de la temperatura de revenire, datorită destabilizării austenitei reziduale.

Dacă, piesa din oțel austenitizat a fost răcită local, căldura din porțiunea nerăcită poate provoca, prin conducție, încălzirea părții răcite, caz în care tratamentul se numeşte autorevenire.

Tratamentul complex de călire urmat de revenire înaltă se numeşte îmbunătățire.

V.7.11. Durificarea prin precipitare

Durificarea prin precipitare a oțelurilor nealiate cu %C = 0,001-0,0218 are loc în următoarele etape:

-punerea în soluție, când se obține la încălzire o soluție solidă în echilibru (austenita);

-suprasaturarea soluției, când se obține la răcire rapidă o soluție în afară de echilibru (ferită suprasaturată în carbon);

-precipitarea fazei dure (cementita terțiară) prin:

-menținere la temperatura ambiantă;

-încălzire (revenirea de durificare):

-la o temperatură relativ joasă, când precipită particule coerente cu matricea;

-la o temperatură relativ înaltă, dar sub temperatura de solubilitate, când precipită particule incoerente cu matricea.

De interes industrial este durificarea prin precipitare a unor oțeluri aliate inoxidabile. Aceste oțeluri pot avea punctul M_s:

-la o temperatură inferioară temperaturii ambiante;

-la o temperatură superioară temperaturii ambiante.

În primul caz, durificarea structurală este indirectă. Pentru oțelul inoxidabil X8CrNiMoAl15-7-2, etapele tratamentului sunt următoarele:

-obținerea austenitei metastabile care poate fi mai uşor transformată ulterior în martensită de duritate scăzută (% C scăzut), printr-o încălzire la 1070 ^{o}C urmată de o răcire în apă (hipercălirea);

-obținerea martensitei de duritate scăzută prin:

-revenire la 750 ^{o}C (martensită termică);

-deformare plastică la rece (martensită de ecruisare);

-tratament prin frig la –80 ^{o}C;

-obținerea martensitei cu duritate optimă printr-o încălzire la 450 ^{o}C, care provoacă precipitarea compuşilor intermetalici (revenirea de durificare).

În al doilea caz, durificarea structurală este directă. Pentru oțelul inoxidabil X5CrNiCuNb16-4, etapele tratamentului sunt reduse la două:

-obținerea martensitei de duritate scăzută prin durificare prin călire;

-obținerea martensitei cu duritate optimă printr-o încălzire la 350-600 ^{o}C, care provoacă precipitarea compuşilor intermetalici (revenirea de durificare).

V.7.12. Recoacerea

Recoacerea este tratamentul termic prin care se urmăreşte obținerea unei stări cât mai aproape de echilibru.

Recoacerea se poate clasifica atfel:

-recoacere propriu-zisă:

-recoacerea completă;

-recoacerea subcritică;

-recoacerea de globulizare;

-recoacerea de creştere a grăuntelui;

-recoacerea de omogenizare;

-recoaceri speciale:

-recoacerea albă;

-recoacerea intercritică;

-tratamente impropriu asimilate ca recoaceri:

-normalizarea;

-afinarea structurală sau regenerarea;

-înmuierea;

-relaxarea;

-relaxarea sau detensionarea;

-restaurarea;

-recristalizarea;

-stabilizarea.

Recoacerea completă se aplică oțelurilor hipoeutectoide şi este realizată printr-o încălzire la o temperatură peste punctul Ac_3 şi o răcire lentă, în cuptor, pentru obținerea unor grăunți mai mici în piese turnate sau laminate.

Recoacerea subcritică este realizată printr-o încălzire la o temperatură puțin inferioară punctului Ac_1 şi o răcire lentă, în cuptor, pentru obținerea limitată a unei stări de echilibru.

Recoacerea de globulizare constă într-o menținere prelungită la o temperatură din jurul punctului Ac_1, cu eventuale oscilații în jurul acestei temperaturi pentru a se globuliza carburile.

Recoacerea de creştere a grăuntelui este efectuată la o temperatură mult superioară punctului Ac_3 (oțeluri hipoeutectoide), cu o menținere suficient de mare pentru a provoca o creştere a grăunților.

Recoacerea de omogenizare este efectuată la o temperatură înaltă, cu o menținere suficient de mare pentru a se reduce, prin difuzie, neomogenitățile chimice produse de segregarea minoră.

Recoacerea albă este recoacerea efectuată într-o atmosferă care să evite oxidarea şi să conserve aspectul metalic inițial.

Recoacerea intercritică este efectuată la o temperatură cuprinsă între punctului Ac_1 şi Ac_3 (oțeluri hipoeutectoide), care permite o austenitizare parțială şi obținerea unei structuri particulare.

Normalizarea este tratamentul termic de încălzire în domeniul austenitic şi de răcire în aer calm. La oțelurile nealiate sau slab aliate normalizarea produce o perlită fină, iar la oțelurile aliate cu conținut scăzut de carbon produce perlită fină, bainită şi chiar martensită.

Afinarea structurală sau regenerarea este tratamentul termic de încălzire la o temperatură puțin superioară punctului Ac_3 (oțeluri hipoeutectoide) şi de răcire cu o viteză convenabilă pentru a se obține micşorarea şi uniformizarea mărimii grăunților cristalini.

Înmuierea este tratamentul termic prin care se urmăreşte scăderea durității la un anumit nivel.

Relaxarea sau detensionarea este tratamentul termic prin care se urmăreşte micşorarea tensiunilor interne, fără modificarea sensibilă a structurii.

Restaurarea este tratamentul prin care se urmăreşte restabilirea cel puțin parțială a proprietăților fizice şi mecanice ale unui oțel deformat plastic la rece (ecruisat) la care temperatura de încălzire este mai mică decât temperatura de recristalizare.

Recristalizarea este tratamentul prin care se urmăreşte dezvoltarea prin germinare şi creştere unor grăunți cristalini nedeformați, fără schimbare de fază, la oțelurile deformate plastic la rece (ecruisate).

Stabilizarea este tratamentul prin care se urmăreşte evitarea variațiilor ulterioare ale dimensiunilor şi structurii, prin provocarea evoluției acestor variații.

V.7.13. Tratamente termochimice

Tratamente termochimice urmăresc reducerea sau mărirea conținutului unor elemente chimice în stratul superficial şi se pot clasifica astfel:

-aluminizarea (Al);
-borurarea (B);
-carbonitrurarea (C, N);
-carburarea (C);
-cianizarea (C, N);
-cromizarea (Cr);
-decarburarea (C);
-nitrurarea (N);
-silicizarea (Si);
-sulfizarea (S);
-sulfocarbonitrurarea (S, C, N);
-şerardizarea (Zn).

Procesul de tratament termochimic se desfăşoară în trei etape:

-disocierea substanței difuzante;

-adsorbția şi absorbția atomilor activi pe suprafața şi în stratul superficial al pieselor;

-difuzia atomilor absorbiți de la suprafață spre interiorul pieselor.

Aluminizarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de aluminiu în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii rezistenţei de oxidare la cald.

Borurarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de bor în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii rezistenţei la uzare şi a refractarităţii.

Carbonitrurarea (în mediu gazos) este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de carbon şi de azot în stratul superficial în vederea durificării în urma unei căliri ulterioare.

Cianizarea (în mediu lichid) este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de carbon şi de azot în stratul superficial în vederea durificării în urma unei căliri ulterioare.

Carburarea (cementarea) este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de carbon în stratul superficial în vederea durificării în urma unei căliri ulterioare. Se aplică oţelurilor cu % C mai mic de 0,2, de exemplu, OLC10, OLC15.

Decarburarea este tratamentul termochimic care urmăreşte micşorarea conţinutului de carbon în stratul superficial în vederea aducerii la nivelul dorit.

Cromizarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de crom în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii rezistenţei de oxidare la cald şi a durităţii.

Nitrurarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de azot în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii durităţii.

Silicizarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de siliciu în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii rezistenţei la coroziune acidă.

Sulfizarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de sulf în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii rezistenţei la uzare.

Sulfocarbonitrurarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de sulf, carbon şi azot în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii rezistenţei la uzare.

Şerardizarea este tratamentul termochimic care urmăreşte mărirea conţinutului de zinc în stratul superficial în vederea îmbunătăţirii rezistenţei la coroziune.

V.7.14. Tratamente termomecanice

Tratamentele termomecanice sunt tratamente la care austenita este supusă la deformări plastice pe parcursul unor operaţii de tratamente termice pentru obţinerea unor anumite proprietăţi.

Se disting mai multe tratamente termomecanice:

-deformare normalizantă (normalizing forming);

-deformare termomecanică (thermomechanical forming);

-deformarea austenitei sub Ac_1 (ausforming).

Deformarea normalizantă, numită şi laminare normalizantă sau laminare la temperatură controlată, este tratamentul termomecanic la care temperatura de sfârşit de deformare a austenitei este în domeniul temperaturilor tratamentului de normalizare (superioară punctului Ac_3 pentru oţelul hipoeutectoid) urmată de o răcire în aer.

Proprietățile obținute la deformarea normalizantă sunt identice cu cele obținute după o normalizare.

Deformarea termomecanică, numită şi laminare termomecanică, este tratamentul termomecanic la care temperatura de sfârşit de deformare a austenitei este într-un interval de temperatură la care proprietățile superioară punctului Ac_3 sau între punctul Ac_3 şi Ac_1 (pentru oțelul hipoeutectoid) urmată de o răcire în aer. Proprietățile obținute la deformarea termomecanică nu pot fi obținute printr-un singur tratament termic.

Deformarea austenitei sub Ac_1 este tratamentul termomecanic la care temperatura de sfârşit de deformare a austenitei este sub Ac_1, într-un domeniu de mare stabilitate a austenitei (histerezis de transformare a austenitei), aflat numai la anumite oțeluri între domeniul transformării perlitice şi cel al transformării bainitice (Fig.97). Deformarea plastică măreşte densitatea dislocațiilor în austenită permițând obținerea unei martensite mult mai fine. Pe parcursul revenirii ulterioare, particulele precipitate au dimensiuni mult mai mici, iar limita elastică şi rezistența mecanică la rupere sunt mai mari cu 25 - 50 % .

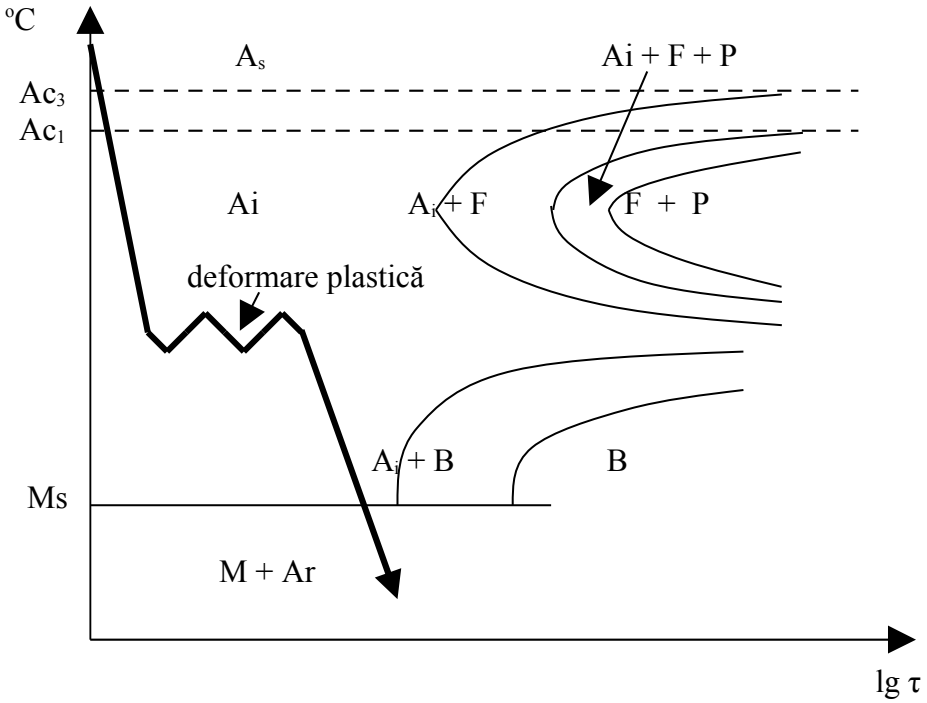


Fig. 97
Tratamentul termomecanic de deformare a austenitei sub Ac_1 (ausforming)

.

V.8. Tratamentele termice ale fontelor

Tratamentele termice principale ale fontelor sunt:

-relaxarea;

-normalizarea;
-durificarea prin călire:
-în profunzime.
-clasică;
-superficială:
-prin inducție;
-tratmentul prin frig;
-revenirea;
-înmuierea;
-recoacerea de maleabilizare.

Fontele cenușii cu matricea metalică inițială perlitică sau ferito-perlitică sunt supuse tratamentului de înmuiere prin feritizare pentru îmbunătățirea prelucrabilității prin aşchiere. Printr-o încălzire şi omenținere suficientă la o temperatură de 700-750 ^{o}C se obține descompunerea cementitei eutectoide în ferită şi grafit.

Recoacerea de maleabilizare se aplică fontelor albe şi poate fi:
-prin decarburare;
-prin grafitizare.

Maleabilizarea prin decarburare permite obținerea fontei maleabile cu inimă albă, asemănătoare cu oțelurile moi.

Maleabilizarea prin grafitizare permite obținerea fontei maleabile cu inimă neagră, la care grafitul în cuiburi permite anumite deformări plastice.

.

CAPITOLUL VI
ALUMINIUL ŞI ALIAJELE SALE

VI.1. Proprietățile aluminiului

-masa molară: M = 26,97;
-masa volumică: $\rho = 2700$ kg / m^3 la 20 ^oC;
-parametrul cristalin: a = 0,364 nm la 20^o C (cfc);
-temperatura de topire: 660 ^oC;
-coeficient de dilatare liniară:
$\alpha = 23,8\ 10^{-6}$-$16,1\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 100 ^oC;
$\alpha = 25,4\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 300 ^oC;
-capacitatea termică masică: c = 0,95 kJ / kg K la 20 ^oC;
-conductivitatea termică: $\lambda = 217,6$ W / mK de la 0 la 800^0 C;
- rezistivitatea electrică: $\rho = 2,63\ \mu\Omega$ cm.

Conductivitatea electrică a aluminiului este 65 % din cea a cuprului.

Aluminiul este foarte oxidabil, dar se acoperă cu o peliculă de oxid (Al_2O_3) groasă, aderentă, care îl protejează bine în soluții de acid clorhidric, sulfuric şi azotic, dar deloc în baze.

Proprietățile mecanice ale aluminiului 99,5 % în stare recoaptă sunt mediocre:
-rezistența de rupere la tracțiune: R_m = 70-80 MPa;
-limita elastică: R_e = 10-20 MPa;

-alungirea relativă: A_r = 50-60 %;
-modulul lui Joung: E = 65000 - 70000 MPa.

Prin deformare plastică la rece proprietățile mecanice ale aluminiului sunt îmbunătățite, în sensul că:

-se măreşte R_m, R_e şi H;
-scade A_r şi KCU.

VI.2. Definirea, clasificarea şi simbolizarea aluminiului şi aliajelor sale

VI.2.1. Definirea şi clasificarea aluminiului şi aliajelor sale

Aluminiul are caracteristici mecanice mediocre, motiv pentru care aliajele sale au o utilizare tot mai largă.

Aluminiul tehnic pur se poate clasifica astfel:

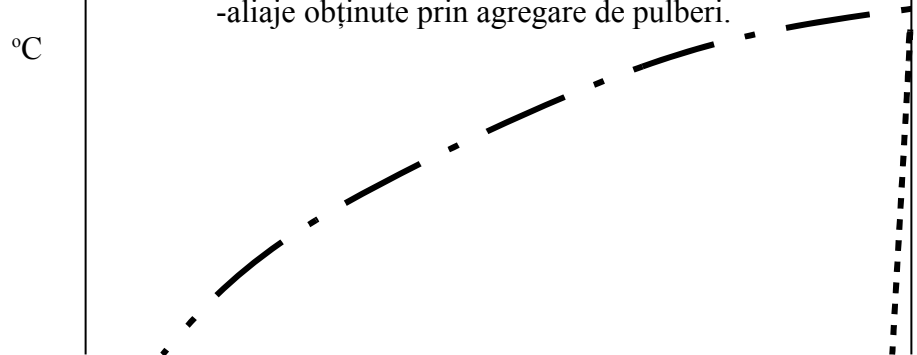
-aluminiu tehnic primar ($99{,}00 \leq \%Al \leq 99{,}80$) ;
-aluminiu tehnic rafinat electrolitic ($\%Al \geq 99{,}99$) ;

Impuritățile aluminiului au efecte diferite :

-asupra conductivității electrice. Ea este diminuată la prezența oricărei impurități;
-asupra altor parametri :
-Ti (0,05-0,10 %) şi Be (0,05-0,01 %) afinează grăuntele cristalin în timpul solidificării ;
-Zr (< 0,10 %) inhibă creşterea grăunților cristalini ;
-Si (0,5-0,8 %) scade rezistența la fisurare la cald, dar măreşte rezistența la fluaj ;
-Ni şi Fe măresc rezistența mecanică la cald ;
-suma Ca+Ni+Sn+Pb trebuie să fie mai mică de 0,1 % pentru a mări rezistența la coroziune ;
-Cr şi Mn influențează pozitiv rezistențala coroziune.

Aliajele de aluminiu pot fi clasificate astfel:

-după principalele elemente de aliere:
-Al-Cu;
-Al-Mn;
-Al-Si;
-Al-Mg;
-Al-Mg-Si;
-Al-Zn;
-după tratamentul termic de durificare structurală :
-aliaje cu durificare structurală ;
-aliaje fără durificare structurală ;
-după modul de obținere :
-aliaje deformabile;
-aliaje turnate;
-aliaje obținute prin agregare de pulberi.



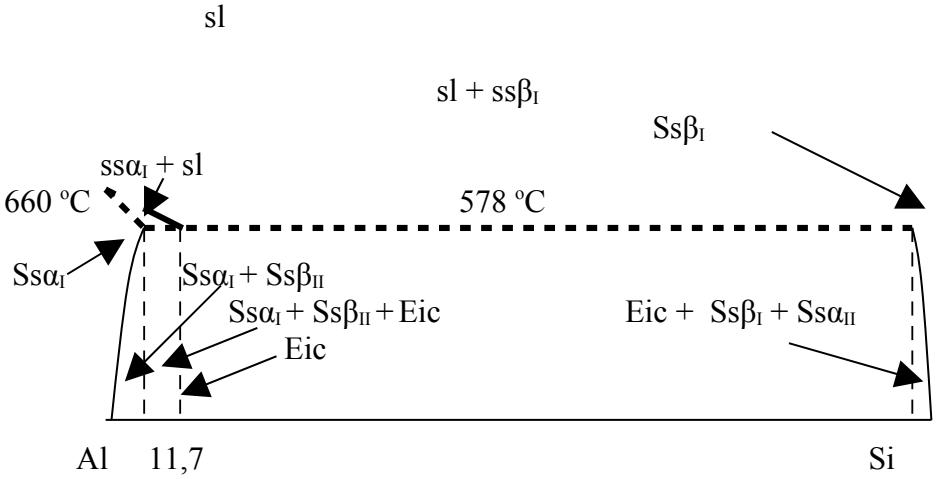


Fig.98
Diagrama de echilibru Al-Si

Aliajele pentru turnare au punctul eutectic la valori relativ scăzute ale temperaturii şi conţinutului elementului principal de aliere, aşa cum se observă la diagrama de echilibru Al-Si prezentată în fig. 98.

Aliajele cu durificare structurală trebuie să prezinte o curbă de variaţie a solubilităţii elementului principal de aliere în soluţia solidă suficient de înclinată , corespunzătoare unor conţinuturi relativ mici ale acestui element. Un exemplu în acest sens se poate observa în diagrama de echilibru Al-Cu prezentată în fig.99.

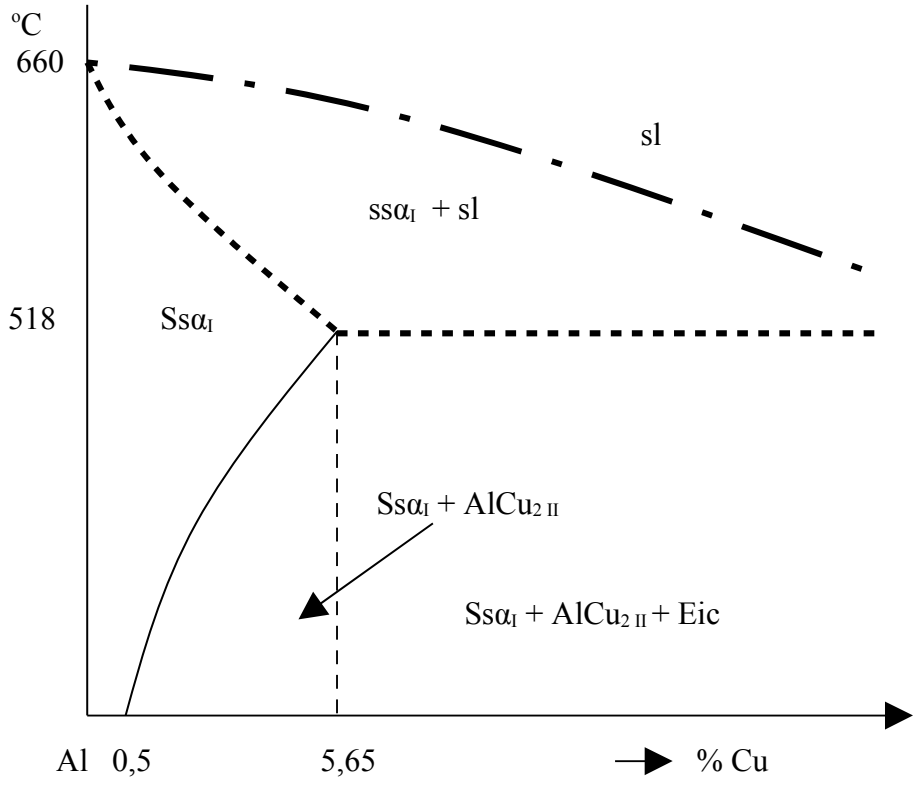


Fig.99
Diagrama parțială Al-Cu

VI.2.2. Simbolizarea aluminiului şi a aliajelor deformabile pe bază de aluminiu

Sistemele de simbolizare pentru aluminiu şi aliajele deformabile pe bază de aluminiu sunt următoarele:

-simbolizarea numerică;

-simbolizarea bazată pe simbolurile chimice .

Simbolizarea numerică a aluminiului şi aliajelor deformabile pe bază de aluminiu este dată de Standardul Român SR EN 573-1:1995, care este identic cu Standardul European EN 573-1:1994.

Această simbolizare se constituie succesiv din:

-prefixul EN urmat de un spațiu;

-litera A care reprezintă aluminiu;

-litera W care reprezintă produse obținute prin deformare plastică;

-o liniuță;

-patru cifre care reprezintă compoziția chimică .

Prima cifră din cele patru indică grupa aliajului şi anume :

-aluminiu minimum 99,00 % _ _ _ _ _ _ _ _ _ _1xxx (seria 1000);

-aliaje de aluminiu grupate după principalele elemente de aliere :

-cupru _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _2xxx (seria 2000);

-mangan _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 3xxx (seria 3000);

-siliciu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 4xxx (seria 4000);

-magneziu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _5xxx (seria 5000);

-magneziu şi siliciu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 6xxx (seria 6000);

-zinc _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _7xxx (seria 7000);

-alte elemente _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _8xxx (seria 8000);

-serii neuzuale _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _9xxx (seria 9000).

Conform standardului menționat anterior, un element de aliere se defineşte ca orice element care se adaugă intenționat în aliaj, pentru orice scop cu excepția finisării granulației şi pentru care se precizează limitele maxime şi minime.

In grupa 1xxx, ultimele două cifre indică procentul maxim de aluminiu. Aceste cifre sunt aceleaşi ca şi cele două cifre din partea dreaptă a cifrei corespunzătoare procentului minimde aluminiu, când acesta se exprimă cu o precizie de 0,01 % .Adoua cifră indică modificările în limitele de impurități sau în elementele de aliere.

In grupa de aliaje de la 2xxx la 8xxx inclusiv, ultimele două cifre nu au o semnificație specială şi ajută numai la identificarea diferitelor aliaje de aluminiu din grupă. A doua cifră indică modificările aliajului.

Variantele naționale se identifică printr-o serie de litere care urmează după cele patru cifre. Seria de litere se atribuie în ordine alfabetică, pornind de la A pentru prima variantă națională înregistrată, dar trebuie omise literele I, O şi Q.

Simbolizarea bazată pe simbolurile chimice este dată de Standardul Român SR EN 573-2:1995, care este identic cu Standardul European EN 573-2:1994 .

Simbolurile chimice sunt urmate de obicei de numere care indică puritatea aluminiului sau conținutul nominal al elementului considerat.

In general, toate simbolizările corespunzătoare acestei codificări trebuie scrise între paranteze drepte şi urmează după simbolizarea cu patru cifre.

Dacă, în mod excepţional se utilizează numai simbolizarea bazată pe simboluri chimice, atunci aceasta trebuie să aibă prefixul EN urmat de un spaţiu liber şi apoi de litera A care reprezintă aluminiu şi de litera W, de identificare a produselor obţinute prin deformare plastică (şi lingouri care urmează să fie deformate). Litera W se separă de simbolurile următoare printr-o cratimă.

Simbolizările pentru aluminiul nealiat deformabil constau în simbolul chimic Al urmat de procentul de puritate exprimat prin una sau mai sau mai multe zecimale , după necesităţi.

Simbolul Al se separă printr-un spaţiu liber de procentul de puritate.

Exemplu : EN AW-1199 [Al 99,99]

Dacă se adaugă un element într-un conţinut scăzut , simbolul corespunzător acestui element se scrie fără spaţiu liber după procentul de puritate.

Exemplu: EN AW – 1100 [Al 99,0Cu]

Un aliaj se simbolizează prin simbolul Al urmat de simbolul principalului element (sau elemente) de aliere.

Aceste simboluri sunt urmate în mod uzual de numere care exprimă conţinutul în procente de masă al elementelor considerate.

Simbolul Al se separă printr-un spaţiu liber de restul simbolizării.

Dacă se consideră că în simbolizare sunt necesare câteva elemente de aliere , acestea se indică în ordinea descrescătoare a conţinutului lor nominal.

Exemplu: EN AW – 6061 [Al Mg1SiCu]

Dacă aceste conţinuturi sunt egale, elementele de aliere se indică în ordinea alfabetică a simbolurilor.

Exemplu: EN AW – 2011 [Al Cu6BiPb]

Simbolurile chimice pentru elementele de aliere trebuie limitate la patru elemente .

Exemplu: EN AW – 7050[Al Zn6CuMgZr]

In cazul aliajelor cu compoziţii similare, pentru deosebirea lor, trebuie să se utilizeze simboluri suplimentare. Astfel, elementul principal de aliere se evidenţiază prin conţinutul nominal (mediu) rotunjit la cel mai apropiat întreg sau, dacă este necesar, la valoarea cea mai apropiată de 5 / 10 sau, pentru conţinuturi mai mici de 1 % , la valoarea cea mai apropiată de 1 / 10.

Exemplu: EN AW – 5251 [Al Mg2]

Exemplu: EN AW – 5052 [Al Mg2,5]

Exemplu: EN AW – 6063 [Al Mg0,7Si]

Elementele de aliere secundare se evidenţiază prin conţinutul nominal (mediu) rotunjit la cel mai apropiat întreg sau, dacă este necesar, la valoarea cea mai apropiată de 5 / 10 sau, pentru conţinuturi mai mici de 1 % , la valoarea cea mai apropiată de 1 / 10.

Exemplu: EN AW – 3103 [Al Mn2]

Exemplu: EN AW – 3005 [Al Mn1Mg0,5]

Exemplu: EN AW – 3004 [Al Mn1Mg1]

Dacă precizările menționate mai sus nu sunt suficiente pentru diferențierea aliajelor, se utilizează un sufix : (A), (B), (C) etc …, primul aliaj propus nu are sufix. Acest sufix este scris între paranteze pentru a nu fi confundat cu simbolurile chimice.

Exemplu: EN AW – 2014 [Al Cu4SiMg]

Exemplu: EN AW – 2014 [Al Cu4SiMg(A)]

VI.2.3. Simbolizarea stărilor aluminiului şi ale aliajelor deformabile pe bază de aluminiu

Simbolizarea stărilor aluminiului şi ale aliajelor deformabile pe bază de aluminiu este dată de de Standardul Român SR EN 515-1:1994, care este identic cu Standardul European EN 515-1:1994.

Simbolizarea stărilor se bazează pe succesiunea tratamentelor de bază utilizate pentru producerea diferitelor stări. Simbolizarea stărilor urmează simbolizării aliajului , fiind separate printr-o cratimă.

Simbolizarea stărilor de bază se face prin litere. Dacă sunt necesare mai multe subdiviziuni ale stărilor de bază, acestea sunt indicate prin una sau mai multe cifre şi urmează literei stării de bază.

Simbolurile stărilor de bază sunt următoarele:

-F (brut de fabricație): pentru produsele rezultate in urma procedeului de prelucrare la cald, la care nu se execută nici un control special privind condițiile termice sau ecruisarea;

-O (recopt) : pentru produsele supuse recoacerii, destinate obținerii stării cu rezistența cea mai scăzută. Starea O poate fi urmată de o cifră diferită de zero;

-H (ecruisat) : pentru produsele supuse unei deformări la rece după recoacere (sau după deformarea la cald) , sau unei combinații de deformare la rece şi o recoacere parțială sau o stabilizare pentru obținerea caracteristicilor mecanice dorite. Litera H este întotdeauna urmată de cel puțin două cifre : prima indică tipul tratamentului , iar a doua indică gradul de ecruisare (o a treia cifră se utilizează în unele cazuri pentru a identifica procedeele speciale de fabricare);

-W (pus în soluție) : pentru produsele îmbătrânite spontan la temperatura ambiantă după tratamentul termic de punere în soluție. Astfel, se indică perioada de îmbătrânire naturală ; de exemplu : W1/2h ;

-T (tratat termic pentru obținerea unei stări diferite de F, O sau H) : pentru produsele tratate termic cu sau fără ecruisare suplimentară, pentru obținerea unei stări stabile. Starea T este întotdeauna urmată de una sau mai multe cifre care indică etapele specifice tratamentelor.

Simbolizările subdiviziunilor pentru starea O (recopt) sunt următoarele :

-O1 (recopt la temperatură ridicată şi răcit lent): pentru produsele deformabile care sunt tratate termic la aceiaşi parametri de temperatură şi timp, aproximativ egali cu cei prescrişi pentru tratamentul de punere în soluție şi răcite lent la temperatura ambiantă, cu scopul accentuării ecoului ultrasonic şi / sau asigurării stabilității dimensionale. Această simbolizare se aplică produselor care trebuie prelucrate de către utilizator, înainte de efectuarea tratamentului termic de punere în soluție. Limitele caracteristicilor mecanice nu sunt prtecizate.

-O2 (tratat termo-mecanic): pentru produsele deformabile supuse unui tratament termo-mecanic special. Se aplică produselor care trebuie supuse de către utilizator unei deformări superplastice înainte de tratamentul termic de punere în soluție.

-O3 (omogenizat): pentru sârma (semifabricat) sau pentru banda (turnată continuu sau laminată) supusă unui tratament de menținere la temperatură ridicată pentru eliminarea segregațiilor, aceasta îmbunătățind capacitatea de deformare şi / sau eficiența tratamentului de punere în soluție.

Simbolizările subdiviziunilor pentru starea H (ecruisat) sunt următoarele :

-prima cifră după H: precizează o combinație specifică de operații de bază, după cum urmează :

-H1x (ecruisat): pentru produsele ecruisate pentru obținerea rezistenței solicitate fără aplicarea unui tratament termic suplimentar.

-H2x (ecruisat şi parțial recopt): pentru produsele ecruisate peste gradul final stabilit,supuse unei recoaceri parțiale , având ca efect o reducere a rezistenței la valoarea prescrisă. Pentru aliajele care se înmoaie la temperatura ambiantă, stările H2x au aceeaşi rezistență minimă la tracțiune ca şi stările H3x. Pentru alte aliaje, stările H2x au aceeaşi rezistență minimă la tracțiune ca şi stările H1x corespunzătoare şi o alungire puțin mai mare.

-H3x (ecruisat şi stabilizat): pentru produsele ecruisate la care caracteristicilemecanice sunt stabilite printr-un termic la temperatură scăzută sauca rezultat al încălzirii în timpul fabricației. In general, stabilizarea îmbunătățeşte ductilitatea. Această simbolizare se aplică numai la aliajele care, în lipsa stabilizării se înmoaie progresiv prin îmbătrânire la temperatură ambiantă.

-H4x (ecruisat şi vopsit sau lăcuit) : pentru produsele ecruisate care pot fi supuse unor recoaceri parțiale în timpul tratamentului de uscare care urmează după operația de vopsire sau lăcuire.

-a doua cifră după H: precizează gradul final de ecruisare, care se identifică cu valoarea minimă a rezistenței la tracțiune, după cum urmează :

-cifra 8: atribuită stărilor celor mai dure obținute în mod obişnuit. Rezistența minimă la tracțiune a stărilor Hx8 poate fi determinată din tabelul nr.18 şi este în funcție de rezistența minimă la tracțiune în stare recoaptă;

-stările între O (recopt) şi Hx8 sunt simbolizate cu cifre de la 1 la 7 după cum urmează :

-cifra 4: atribuită stărilor ale căror rezistență la tracțiune este aproximativ la jumătatea intervalului între starea O şi stările Hx8 ;

-cifra 2: atribuită stărilor ale căror rezistență la tracțiune este aproximativ la jumătatea intervalului între starea O şi stările Hx4 ;

-cifra 6: atribuită stărilor ale căror rezistență la tracțiune este aproximativ la jumătatea intervalului între starea Hx6 şi stările Hx8 ;

-cifrele 1,3,5 şi 7: atribuită similar stărilor intermediare între acelea care au fost definite anterior ;

-cifra 9: atribuită stărilor a căror rezistență minimă la tracțiune depăşeşte cu 10 Mpa sau mai mult pe cea corespunzătoare stărilor Hx8 .

Tabelul 18

Rezistența minimă la tracțiune în stare recoaptă (Mpa)	Creşterea rezistenței la tracțiune pentru atingerea stării Hx8 (Mpa)
până la 40	55
45 la 60	65
65 la 80	75
85 la 80	85
105 la 80	90
125 la 80	95
165 la 80	100
205 la 80	105
245 la 80	110
285 la 80	115
325 şi peste	120

-a treia cifră după H: precizează , atunci când este utilizată, o variantă a stării definite prin două cifre. Se utilizează atunci când gradul de ecruisare sau caracteristicile mecanice sau ambele diferă, dar sunt apropiate de aceea (sau acelea) ale stării H simbolizate cu doua cifre, la care se ataşează a treia cifră, sau în cazul în care este afectată semnificativ o altă caracteristică, după cum urmează:

-Hx11: atribuită produselor care, după recoacerea finală prezintă o reducere suficientă a ecruisării, asfel încât să nu fie considerate recoapte, dar insuficientă pentru a fi încadrată în starea Hx1;

-H112: atribuită produselor care pot să prezinte o durificare în urma unui procedeu de prelucrare la temperaturi ridicate sau printr-o limitare a gradului de deformare la rece controlată şi pentru care sunt precizate limitele caracteristicilor mecanice;

-H116: atribuită produselor obținute din aliaje ale grupei 5xxx, în care conținutul de magneziu este egal sau mai mare de 4 % şi pentru care sunt precizate limitele caracteristicilor mecanice şi rezistența la coroziune prin exfoliere;

-Hxx4: atribuită produselor sub formă de tablă sau benzi ondulate pornind de la starea Hxx corespunzătoare.

Exemplu: o tablă ondulată fabricată pornind de la starea H42 este simbolizată H424 ;

-Hxx5: atribuită produselor sub formă de țevi sudate. In funcție de aliaj şi de geometria țevii, limitele caracteristicilor mecanice pot fi diferite de acelea ale stării corespunzătoare pentru bandă.

Simbolizările subdiviziunilor pentru starea T (tratat termic pentru obținerea unei stări diferite de F, O sau H) sunt următoarele :

-prima cifră după T : precizează secvențele specifice ale tratamentelor de bază. Cifrele de la 1 la 9 sunt atribuite după cum urmează :

-T1 (răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate şi îmbătrânit natural până la obținerea unei stări stabile): se aplică produselor care, după răcire, în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate, nu sunt deformate la rece, sau pentru care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare nu se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T2 (răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate, deformat la rece şi îmbătrânit natural până la obţinerea unei stări stabile): se aplică produselor care, după răcire, în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate, suferă o deformare la rece pentru îmbunătăţirea rezistenţei mecanice sau produselor la care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare nu se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T3 (pus în soluţie , deformat la rece şi îmbătrânit natural până la obţinerea unei stări stabile): se aplică produselor care după punerea în soluţie sunt deformate la rece pentru îmbunătăţirea rezistenţei la tracţiune sau produselor la care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T4 (pus în soluţie şi îmbătrânit natural până la obţinerea unei stări stabile): se aplică produselor care după tratamentul de punere în soluţie nu sunt deformate la rece, sau produselor la care efectul deformării la rece prin îndreptare sau redresare nu se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

- T5 (răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate, deformat la rece şi îmbătrânit artificial): se aplică produselor care nu sunt deformate la rece după o răcire în urma aplicării procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sau la care efectul de deformare la rece prin îndreptare sau redresare poate să nu se regăsească în limitele caracteristicilor mecanice;

-T6 (pus în soluţie şi îmbătrânit artificial): se aplică produselor care nu sunt deformate la rece după tratamentul de punere în soluţie sau la care efectul de deformare la rece prin îndreptare sau redresare poate să nu se regăsească în limitele caracteristicilor mecanice;

-T7 (pus în soluţie şi supraîmbătrânit / stabilizat): se aplică produselor care după tratamentul de punere în soluţie sunt supuse unui tratament de îmbătrânire artificială în vederea obţinerii unei valori peste punctul rezistenţei maxime la tracţiune pentru a se asigura caracteristici semnificative, diferite de caracteristicile mecanice;

-T8 (pus în soluţie, deformat la rece şi îmbătrânit artificial): se aplică produselor care sunt supuse unei deformări la rece pentru îmbunătăţirea rezistenţei la tracţiune sau la care efectul de deformare la rece prin îndreptare sau redresare se regăseşte în limitele caracteristicilor mecanice;

-T9 (pus în soluţie, îmbătrânit artificial şi deformat la rece) : se aplică produselor care sunt supuse unei deformări la rece pentru îmbunătăţirea rezistenţei la tracţiune.

Aceste simbolizări sunt sintetizate în tabelul 19.

Tabelul 19

Îmbătrânit	Deformat la rece	Răcit după procedeul de prelucrare la temperaturi ridicate	Pus în soluţie în cuptor
natural	nu	T1	T4
“	da	T2	T3
artificial	nu	T5	T6,T7
“	înainte de îmbătrânire		T7,T8

“	după îmbătrânire		T9

-cifre suplimentare după T: precizează respectiv una sau mai multe situații , după cum urmează :

-tratamentul de punere în soluție şi/sau tratamentul de precipitare ;

-gradul de deformare la rece după tratamentul de punere în soluție ;

-operația de detensionare.

Stărilor de detensionare ale produselor deformabile le sunt atribuite următoarele cifre suplimentare specifice:

-în cazul detensionării prin întindere:

-Tx51sauTxx51: se aplică tablelor, tablelor groase, barelor laminate sau finisate la rece, semifabricatelor forjate liber sau în matriță, care după punere în soluție sau după răcire în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sunt supuse întinderii controlate. Produsele nu sunt supuse dresării după întindere. Deformarea remanentă admisă este următoarea :

-tablă groasă : _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _1,5…3%

-tablă: _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 0,5…3%

-bară laminată sau finisată la rece _ _ _ _ _1…5%

-semifabricat forjat liber sau în matriță _ __1…5%

-Tx510 sau Txx510 : se aplică barelor, profilelor şi țevilor care, după tratamentul de punere în soluție sau după răcire în urma în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sunt supuse întinderii controlate.

Produsele nu sunt supuse dresării după întindere. Deformarea remanentă admisă este următoarea:

-bare, profile şi țevi extrudate _ _ _ _ _ _ _ _1…3%

-țevi trase _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _0,5…3%

Tx511 sau Txx511 : se aplică barelor, profilelor şi țevilor care, după tratamentul de punere în soluție sau după răcire în urma în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate sunt supuse întinderii controlate. Produsele pot suferi o uşoară dresare după intindere, pentru a se încadra în toleranțele standadizate. Deformarea remanentă admisă este următoarea :

-bare, profile şi țevi extrudate _ _ _ _ _ _ _ _1…3%

-țevi trase _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _0,5…3%

-în cazul detensionării prin compresiune:

-Tx52sauTxx52: se aplică produselor care, după tratamentul de punere în soluție , sau după răcire în urma în urma procedeului de prelucrare la temperaturi ridicate, sunt detensionate prin compresiune pentru a prezenta o deformare remanentă de1…3%;

-în cazul detensionării prin întindere şi compresiune combinată :

-Tx54sauTxx54: se aplică produselor matrițate care sunt detensionate prin lovituri repetate la rece, intr-o matriță la cote finale .

Cifra 2 ca a doua cifră după T4 sau T6 este utilizată în cazul verificării materialului tratat termic , pornind de la starea recopt (O1, O2 etc) sau de la starea F. Aceasta se poate aplica şi la produsele tratate termic pornind de la orice stare precizată de utilizator, atunci când prin acest tratament termic rezultă caracteristici mecanice corespunzătoare acestei stări, după cum urmează :

-T42: pus in soluţie pornind de la starea recopt (O1, O2 etc.) sau de la starea F şi îmbătrânit natural până la obţinerea unei stări stabile;

-T62: pus in soluţie pornind de la starea recopt (O1, O2 etc.) sau de la starea F şi îmbătrânit natural.

Variante ale stărilor de tipul T7 se aplică produselor care sunt supraîmbătrânite artificial pentru ca :

-să se îmbunătăţească o caracteristică cum ar fi rezistenţa la coroziune sub tensiune, reziliența, rezistenţa la coroziune prin exfoliere ;

-să se obţină un compromis favorabil între caracteristicile menţionate şi rezistenţa la tracţiune.

Aceste variante sunt următoarele :

-T79 : supraîmbătrânire foarte limitată ;

-T76 : supraîmbătrânire limitată pentru obţinerea rezistenţei maxime la tracţiune comparabilă cu o bună rezistenţă la coroziune prin exfoliere ;

-T74 : supraîmbătrânire limitată între T73 şi T76, pentru obţinerea unei valori acceptabile ale rezistenţei la tracţiune comparabilă cu o bună rezistenţă la coroziune prin exfoliere ;

-T73 : supraîmbătrânire completă pentru obţinerea celei mai bune rezistenţe la coroziune sub tensiune.

VI.2.4.Simbolizarea aluminiului şi a aliajelor turnate pe bază de aluminiu

Sistemele de simbolizare pentru aluminiu şi aliajele turnate pe bază de aluminiu sunt următoarele:

-simbolizarea numerică;

-simbolizarea bazată pe simbolurile chimice ;

Simbolizarea numerică a aluminiului şi aliajelor turnate pe bază de aluminiu va fi dată de Standardul Român SR EN 1780-1:200?, care va fi identic cu Standardul European EN 1780-1:1994.

Această simbolizare se constituie succesiv din:

-prefixul EN urmat de un spaţiu;

-litera A care reprezintă aluminiu;

-litera C care reprezintă produse obţinute prin turnare (casting);

-o liniuţă;

-cinci cifre care reprezintă compoziţia chimică. Primele două cifre indică grupa de aliaje şi ultimele trei cifre indică compoziţia chimică.

Prima cifră din cele cinci corespunde aceloraşi grupe ca şi pentru aliajule deformabile şi anume:

-aluminiu minimum 99,00 % _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 1;

-aliaje de aluminiu grupate după principalele elemente de aliere :

-cupru _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 2;

-mangan _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 3;

-siliciu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 4;

-magneziu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 5;

-magneziu şi siliciu _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 6;

-zinc _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 7;

-alte elemente _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 8;

Conform standardului menţionat anterior, un element de aliere se defineşte ca orice element care se adaugă intenţionat în aliaj, pentru orice scop cu excepţia finisării granulaţiei şi pentru care se precizează limitele maxime şi minime.

Variantele naţionale se identifică printr-o serie de litere care urmează după cele patru cifre. Seria de litere se atribuie în ordine alfabetică, pornind de la A pentru prima variantă naţională înregistrată, dar trebuie omise literele I, O şi Q.

Simbolizarea bazată pe simbolurile chimice va fi dată de Standardul Român SR EN 1780-2:200?, care va fidentic cu Standardul European EN 1780-2:1994 .

Simbolurile chimice sunt urmate de obicei de numere care indică puritatea aluminiului sau conţinutul nominal al elementului considerat.

In general, toate simbolizările corespunzătoare acestei codificări trebuie scrise între paranteze drepte şi urmează după simbolizarea cu patru cifre.

Dacă, în mod excepţional se utilizează numai simbolizarea bazată pe simboluri chimice, atunci aceasta trebuie să aibă prefixul EN urmat de un spaţiu liber şi apoi de litera A care reprezintă aluminiu şi de litera C, de identificare a produselor turnate. Litera C se separă de simbolurile următoare printr-o cratimă.

Simbolizările pentru aluminiul nealiat turnat constau în simbolul chimic Al urmat de procentul de puritate exprimat prin una sau mai sau mai multe zecimale , după necesităţi.

Simbolul Al se separă printr-un spaţiu liber de procentul de puritate.

Dacă se adaugă un element într-un conţinut scăzut, simbolul corespunzător acestui element se scrie fără spaţiu liber după procentul de puritate.

Un aliaj se simbolizează prin simbolul Al urmat de simbolul principalului element (sau elemente) de aliere.

Aceste simboluri sunt urmate în mod uzual de numere care exprimă conţinutul în procente de masă al elementelor considerate.

Dacă se consideră că în simbolizare sunt necesare câteva elemente de aliere , acestea se indică în ordinea descrescătoare a conţinutului lor nominal.

Dacă aceste conţinuturi sunt egale, elementele de aliere se indică în ordinea alfabetică a simbolurilor.

Simbolurile chimice pentru elementele de aliere trebuie limitate la patru elemente .

In cazul aliajelor cu compoziţii similare, pentru deosebirea lor, trebuie să se utilizeze simboluri suplimentare.

Exemple de aliaje de aluminiu turnate sunt date în tabelul 20.

Tabelul 20

Simbolizare numerică	Simbolizare cu simboluri chimice
EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi
EN AC-41000	EN AC- AlSi2 MgTi
EN AC-42000	EN AC- AlSi7 Mg
EN AC-42100	EN AC- AlSi7 Mg0,3
EN AC-42200	EN AC- Al Si7 Mg0,6
EN AC-44000	EN AC- Al Si11
EN AC-45200	EN AC- Al Si5Cu3Mn
EN AC-51000	EN AC- Al Mg3
EN AC-71000	EN AC- Al Zn5Mg

VI.2.5. Simbolizarea stărilor aluminiului şi a aliajelor turnate pe bază de aluminiu

Simbolizarea stărilor aluminiului şi ale aliajelor turnate pe bază de aluminiu va fi dată de de Standardul Român SR EN 1706:200?, care va fi identic cu Standardul European EN 1706:1998.

Stările principale ale aluminiului şi ale aliajelor turnate pe bază de aluminiu sunt următoarele (cu observaţia că în standardul respectiv pot apare uşoare modificări) :

-F : brut de turnare ;

-O : recopt;

-T : tratat termic pentru obţinerea unei stări diferite de F şi O ;

-T1: răcire controlată după solidificare şi îmbătrânire naturală;

-T4: pus în soluţie şi îmbătrânire naturală (maturare) ;

-T5: răcire controlată după solidificare şi pus în soluţie şi imbătrânire artificială / subimbătrânire artificială (stabilizare)

-T6: pus în soluţie şi imbătrânire artificială maximă

-T7: pus în soluţie şi subimbătrânire artificială (stabilizare).

VI.2.6. Exemple de mărci de aluminiu şi de aliaje pe bază de aluminiu conform SR EN 573-1: 1995

Nr. crt.	Marca aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu	Categoria aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu
1	EN AW – 1100 [Al 99,0 %]	Aluminiu tehnic (Al = 99,00 %)
2	EN AW – 1070 [Al 99,7 %]	Aluminiu tehnic (Al = 99,70 %)
3	EN AW – 1199 [Al 99,99 %]	Aluminiu tehnic (Al = 99,99 %)
4	EN AW – 2 011[AlCu6BiPb] (A = aluminium; W = wrought)	Aliaj de aluminiu cu cupru, deformabil (Cu= 6 %; Bi <1 %; Pb <1 %) (Cuprul este elementul principal de aliere; conținuturile de bismut şi de fier sunt date în ordine alfabetică)
5	EN AW – 7050 [AlZn6CuMgZr]	Aliaj de aluminiu cu zinc, deformabil (Zn = 6 %; Cu <1 %; Mg <1 %; Zr <1 %) (Cuprul este elementul principal de aliere; simbolurile chimice sunt limitate la patru elemente de aliere)
6	EN AC – 21000 [AlCu4MgTi] (A = aluminium; C= cast)	Aliaj de aluminiu cu cupru, turnat (Cu= 4 %; Mg <1 %; Ti <1 %)
7	EN AC – 44000 [AlSi11]	Aliaj de aluminiu cu siliciu, turnat (Si = 11 %)

VI.2.7.Exemple de mărci de aluminiu şe de aliaje pe bază de aluminiu conform unor STAS- uri

Nr. crt.	Marca aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu	STAS	Categoria aluminiului sau aliajului pe bază de aluminiu
1	Al 99,8	7607 / 1-86	Aluminiu tehnic primar (Al = 99,8 %)
2	Al E	7607 / 1-86	Aluminiu tehnic primar, destinat conductorilor liniilor aeriene pentru transportul energiei electrice (Al ≥ 99,5 %)
3	Al 99,99	7607 / 1-86	Aluminiu rafinat electrolitic (Al ≥ 99,99 %)
4	AlMnCu	7608-80	Aliaj de aluminiu deformabil şi nedurificabil prin tratament termic (Mn = 1 %; Cu < 1 %)
5	AlMg3	7608-80	Aliaj de aluminiu deformabil şi nedurificabil prin tratament termic (Mg = 1 %)
6	AlCu4MgMn	7608-80	Aliaj de aluminiu deformabil şi nedurificabil prin tratament termic (Cu = 4 %; Mg <1 %; Mn <1 %)
7	ATNCu4	201 / 1 - 80	Aliaj de aluminiu turnat în amestec de formare (Cu = 4 %)
8	ATNSi12Mg	201 / 1 - 80	Aliaj de aluminiu turnat în amestec de formare (Si= 12 %, Mg <1 %)
9	ATCSi12Mg	201 / 1 - 80	Aliaj de aluminiu turnat în cochilă (Si= 12 %; Mg <1 %)
10	ATPSi12Mg	201 / 1 - 80	Aliaj de aluminiu turnat sub presiune (Si= 12 %; Mg <1 %)
11	ATNZn5Mg	201 / 1 - 80	Aliaj de aluminiu turnat în amestec de formare (Zn= 5 %; Mg <1 %)
12	ATPZn5Mg	201 / 1 - 80	Aliaj de aluminiu turnat în cochilă (Zn= 5 %; Mg <1 %)

VI.3. Tratamentele termice ale aluminiului şi aliajelor sale

Tratamentele termice principale ale aluminiului şi aliajelor sale sunt:

-durificarea prin precipitare;

-recoacerea de omogenizare;

-restaurarea;

-recristalizarea..

Durificarea prin precipitare se aplică în special duraluminiului (Fig.100) şi are loc în următoarele etape:

-punerea în soluție, printr-o încălzire la o temperatură cuprinsă între punctele P şi R, când se obține o soluție solidă în echilibru (Ssα);

-suprasaturarea soluției, când se obține la răcire rapidă o soluție solidă în afară de echilibru, suprasaturată în cupru;

-precipitarea:

-zonelor GP (Guinier-Preston) prin menținere la temperatura ambiantă;

-fazei θ" şi θ' prin revenire de durificare la o temperatura până la 200 ^{o}C;

-fazei θ prin revenire de durificare la o temperatura peste 200 ^{o}C.

Prin răcire foarte lentă, de echilibru, se obține faza θ ($AlCu_{2\ II}$), incoerentă cu matricea.

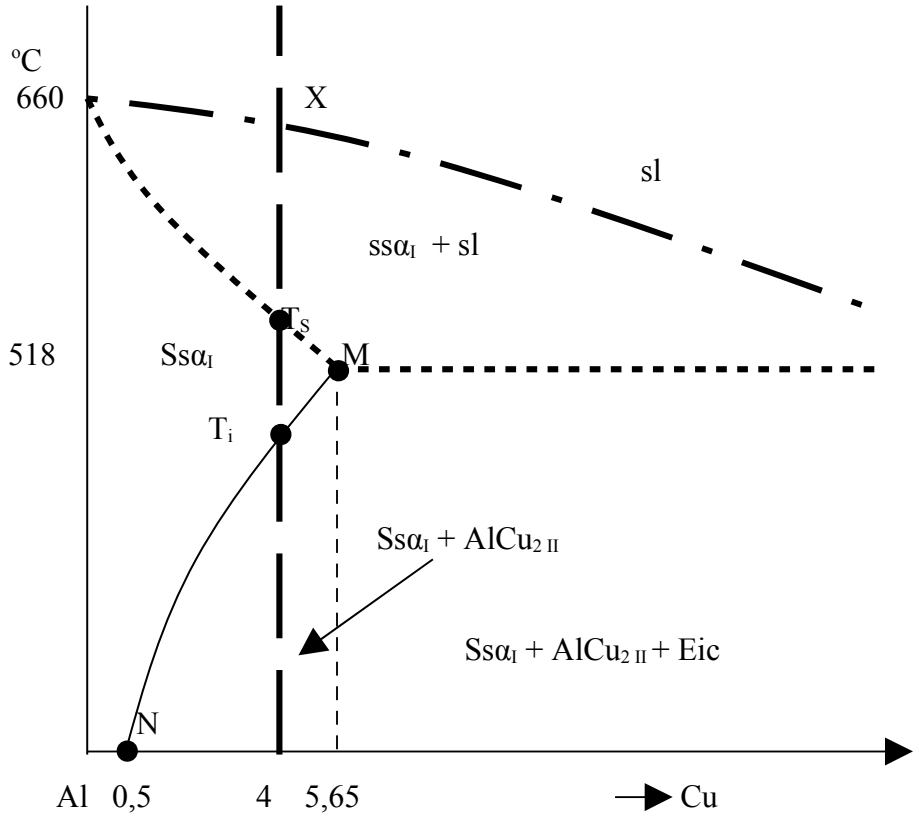


Fig.100

Duraluminiul în diagrama parțială Al-Cu

Zonele GP (Guinier-Preston) şi fazele θ" sunt coerente cu matricea. Faza θ' este semicoerentă cu matricea.

Durificarea obținută este în funcție de temperatură şi de durată şi are un maxim, care corespunde unei dimensiuni şi unei repartiții optime a particulelor precipitate (Fig.101).

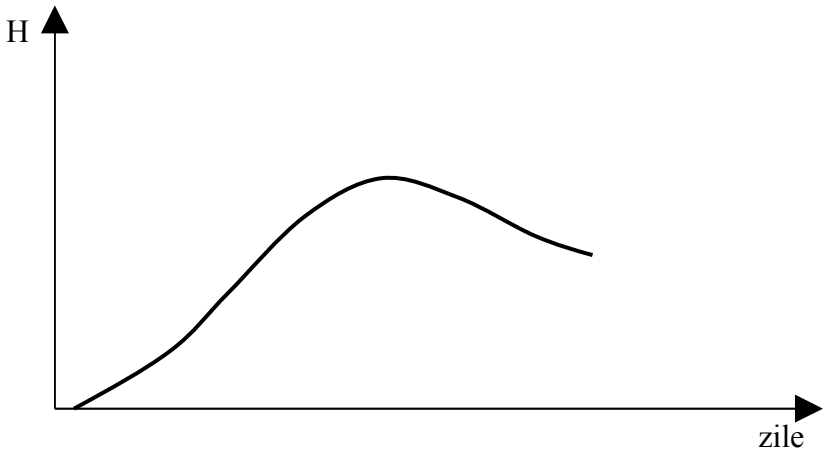


Fig.101
Variația durității în funcție de durata revenirii la o anumită temperatură

CAPITOLUL VII
CUPRUL ŞI ALIAJELE SALE

VII.1. Proprietăţile cuprului

-masa molară: M = 63,54;
-masa volumică: $\rho = 8930$ kg / m^3 la 20 ^oC;
-parametrul cristalin: a = 0,360 nm la 20^o C (cfc);
-temperatura de topire: 1083 ^oC;
-coeficient de dilatare liniară:
$\alpha = 16,6\ 10^{-6}$-$16,1\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 100 ^oC;
$\alpha = 17,6\ 10^{-6}$ m / K de la 20 la 300 ^oC;
-capacitatea termică masică: c = 0,385 kJ / kg K la 20 ^oC;
-conductivitatea termică: $\lambda = 385$ W / mK de la 0 la 800^0 C;
- rezistivitatea electrică: $\rho = 1,7241\ \mu\Omega$ cm.

Valorile conductivităţii termice şi rezistivităţii electrice sunt luate prin convenţie ca valori de referinţă egale cu 100 % IACS (International Annealed Copper Standard).

La temperatura ambiantă şi în aer uscat, cuprul se acoperă cu o peliculă protectoare de de oxid (Cu_2O). Apa de mare nu are decât o acţiune superficială, dar clorurile şi acizii atacă acest metal.

Proprietăţile mecanice ale cuprului în stare recoaptă sunt:
-rezistenţa de rupere la tracţiune: R_m = 230 MPa;
-limita elastică: R_e = 70 MPa;
-alungirea relativă: A_r = 45 %.

Prin deformare plastică la rece proprietăţile mecanice ale cuprului sunt îmbunătăţite, în sensul că:
-se măreşte R_m, R_e şi H;
-scade A_r şi KCU.

VII.2. Definirea, clasificarea şi simbolizarea cuprului şi aliajelor sale

VII.2.1. Definirea şi clasificarea cuprului şi aliajelor sale

Cuprul este deosebit de utilizat în industrie, atât ca metal tehnic pur (50% din producţia de cupru) cât şi prin aliajele sale.

Cuprul tehnic pur se poate clasifica:
-după procedeul de rafinare:
- cupru rafinat termic;
- cupru rafinat electrolitic;

-după conţinutul de oxigen:

- cupru rafinat ce conține oxigen(%Cu≥99,9);
- cupru fără oxigen cu dezoxidant rezidual (%Cu≥99,9);
- cupru fără oxigen(%Cu =99,95-99,9).

Impuritățile mai importante ale cuprului sunt oxigenul, care favorizează fragilitatea, şi fosforul, provenind de la dezoxidarea cu fosfuri de cupru (Cu_3P_2 etc), care scad conductivitatea electrică sau termică.

Aliajele cuprului se pot clasifica astfel:

-după natura elementului principal de aliere:

- aliaje Cu-Zn (alame);
- aliaje Cu-Sn (bronzuri cu staniu);
- aliaje Cu-Al (bronzuri cu aluminiu);
- aliaje Cu-Ni (aliaje melchior etc);

-după conținutul elementului principal de aliere:

- cupru slab aliat:
  - -cu argint (%Ag = 0,08);
  - -cu cadmiu(%Te = 0,3-0,7);
  - -cu crom(%Cr = 0,5-0,9);
  - -cu beriliu (%Be = 2);
- -aliaje propriu-zise;

- după modul de obținere:

- aliaje deformabile;
- aliaje turnate în piese sau blocuri;
- aliaje obținute prin agregare de pulberi.

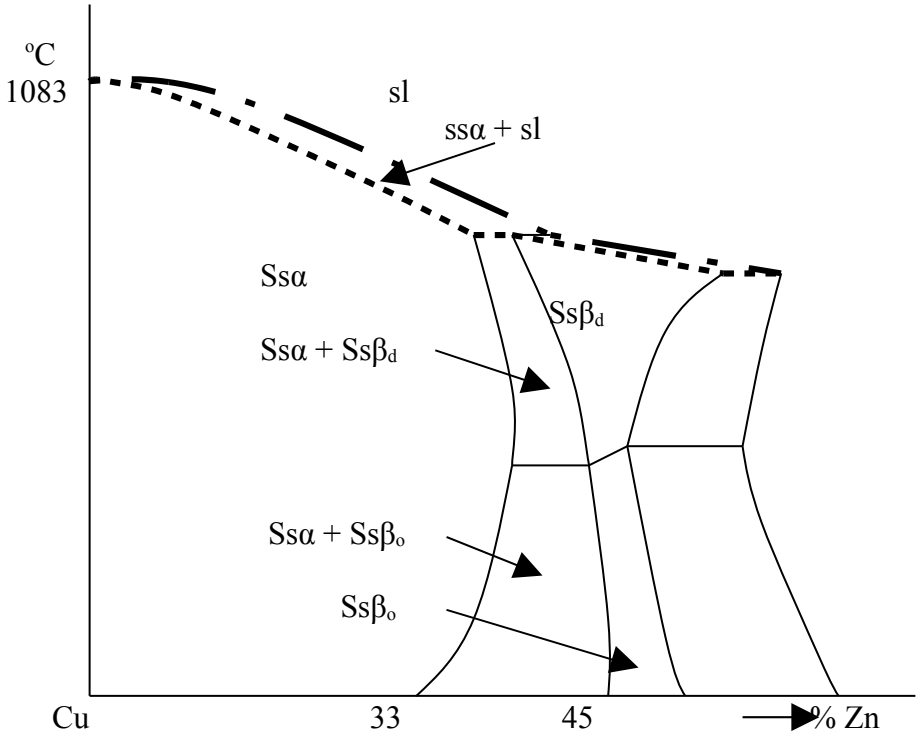


Fig. 102
Diagrama parțială Cu-Zn

Alamele se pot clasifica în:

- alame simple (care corespund diagramei Cu-Zn din fig.102):
  - -alame α :
    - -alame α obişnuite(10<%Zn<33)
    - -tombac(5<%Zn≤45);
  - -alame $\alpha+\beta$ ' (33<%Zn<45);
- -alame complexe:
  - -alame cu plumb;
  - -alame speciale:
    - -cu Si;
    - -cu Al;
    - -cu Sn;
    - -cu Te;
    - -cu Mn, etc.

La rândul lor, bronzurile cu staniu se pot clasifica astfel:

- -bronzuri simple (care corespund diagramei Cu-Sn din fig.103):
  - -bronzuri α (%Sn<14);
  - -bronzuri $\alpha+\gamma$ (14<%Sn<32);
- -bronzuri complexe:
  - -cu P;
  - -cu Pb;
  - -cu Zn etc.

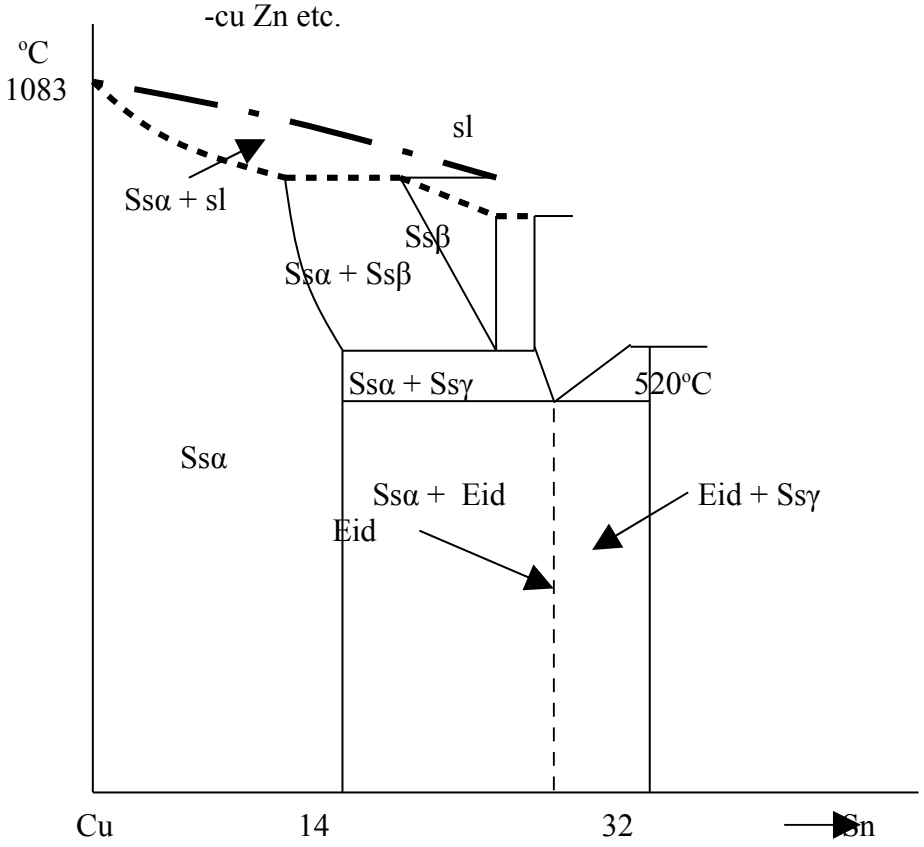


Fig.103
Diagrama parțială Cu-Sn

De asemenea, bronzurile cu aluminiu pot fi:

-bronzuri simple (care corespund diagramei Cu-Al din fig.104):

-bronzuri α (%A l<9,4);

-bronzuri α+ γ_2 (9,4<%Al<15,6);

-bronzuri complexe:

-cu Ni;

-cu Fe;

-cu Mn etc.

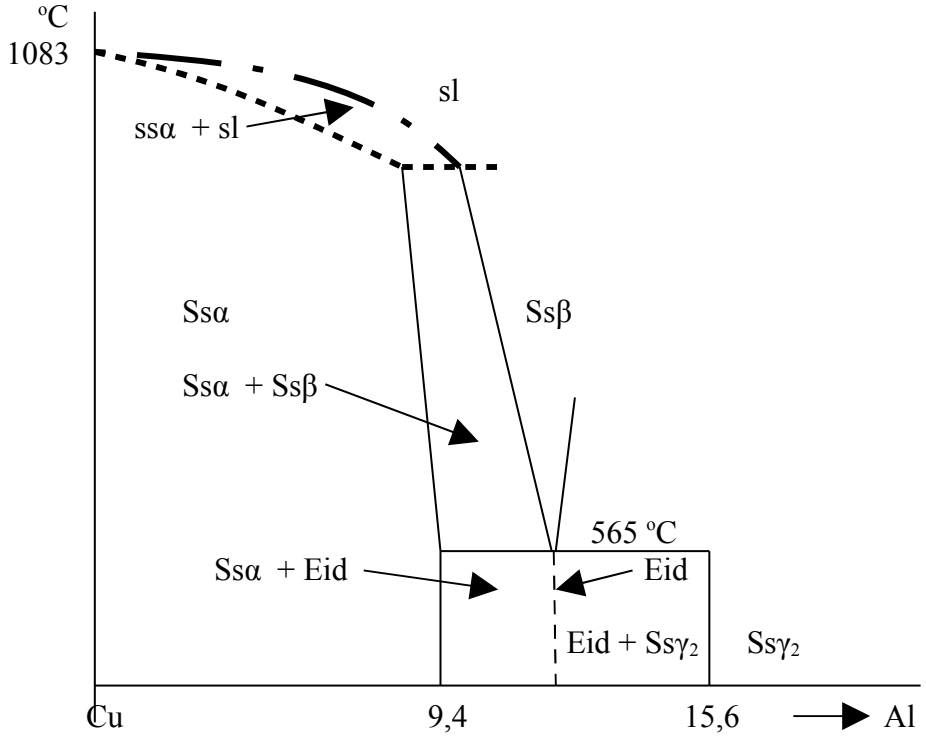


Fig.104
Diagrama parțială Cu-Al

In general, aliajele cuprului au caracteristici mecanice mai bune decât cele ale metalului de bază şi un preț de cost relativ mai scăzut.

Toate aliajele cuprului de tipul Cu-X (X =Zn, Sn, Al) prezintă soluții solide de tipul prezentat în tabelul 21.

Tabelul 21

% X	Denumirea soluției solide	Rețeaua de cristalizare	Caracteristica mecanică principală
↓	soluție solidă α	c.f.c	maleabilă
↓	soluție solidă β	c.v.c.	maleabilă
↓	soluție solidă γ	cubică cu 52 atomi în rețea	foarte fragilă

VII.2.2. Simbolizarea cuprului şi aliajelor sale

Simbolizarea cuprului şi a aliajelor pe bază de cupru este dată de Standardul Român SR ISO 1190/1:1993, care este identic cu Standardul Internațional ISO 1190/1:1982.

Simbolizarea cuprului conține simbolul chimic (Cu), urmat de o serie de litere majuscule, care se referă la tipul de cupru. Literele majuscule trebuie să fie separate de simbolul chimic printr-o liniuță pentru a indica faptul că ele nu corespund simbolurilor chimice. De exemplu: Cu- ETP, Cu-DHP, Cu- FRHC.

Simbolizarea aliajelor de cupru trebuie să conțină simbolurile chimice ale elementului de bază (Cu) şi cele ale elementelor de aliere, urmate de numere, de preferință întregi, indicând conținuturile (dacă aceste elemente sunt prezente la conținuturi nominale în jur de 1% sau mai mult). Elementele de aliere trebuie să fie în ordine descrescătoare (de exemplu: CuZn36Pb3) sau, în cazul conținuturilor egale, în ordine alfabetică a simbolurilor chimice(de exemplu: CuAl1F5Ni5), cu condiția ca elementul principal de aliere, să fie înscris primul, fără a ține seama de conținutul său (de exemplu: CuNi18Zn27 şi nu CuZn27Ni18).

Aliajele de turnătorie trebuie să conțină prefixul G. În funcție de procedeul de turnare, se utilizează următoarele prefixe:

GS: turnare în nisip;
GM: turnare în cochilă;
GZ: turnare centrifugală;
GC: turnare continuă;
GP: turnare sub presiune;
GV: turnare cu vibrare.

VII.2.3. Simbolizarea stărilor cuprului şi aliajelor pe bază de cupru

Simbolizarea stărilor cuprului şi aliajelor pe bază de cupru este dată de Standardul Român SR ISO 1190/2:1993, care este identic cu Standardul Internațional ISO 1190/1:1982.

Simbolizarea stărilor de bază este următoarea:

-M (brut de fabricație): pentru produsele obținute din operațiile de punere în formă (sau fabricație), în cursul cărora nu se efectuează nici o verificare specială privind condițiile de temperatură sau gradul de ecruisare;

-O (recopt): pentru produsele deformate care au fost supuse unei recoaceri complete şi pentru produsele turnate, supuse unei recoaceri destinate îmbunătățirii ductilității şi stabilizării caracteristicilor;

-H (ecruisat): pentru produsele deformate , supuse unei deformări la rece după recoacere, sau unei combinații între o deformare la rece şi un tratament de recoacere parțială sau de stabilizare, cu scopul obținerii unor caracteristici mecanice prescrise. Litera H trebuie să fie întotdeauna urmată de o a doua literă ce corespunde diferitelor grade de ecruisare;

-T (tratat termic pentru obținerea unor stări diferite de M, O, sau H): pentru produsele a căror rezistență mecanică poate fi îmbunătățită printr-un tratament termic, asociat sau nu, cu o ecriusare suplimentară.

VII.2.4. Exemple de mărci de cupru şi aliaje pe bază de cupru conform SR ISO 1190/1:1993

Nr. crt.	Marca cuprului sau aliajului pe bază de cupru	Categoria cuprului sau aliajului pe bază de cupru
1	Cu-FRTP (Fire Refined, Tough Pitch)	Cupru rafinat termic, cu oxigen (Cu ≥ 99,00 %)
2	Cu-FRHC (Fire Refined, High Conductivity)	Cupru rafinat termic, dezoxidat cu fosfor, cu conductivitate electrică ridicată (Cu ≥ 99,90 %)
3	Cu-DHP (Desoxygenized, High Phosphorus)	Cupru rafinat termic, dezoxidat cu fosfor, cu conţinut ridicat de fosfor (Cu ≥ 99,90 %) (P = 0,013-0,050 %)
4	Cu-ETP (Electrolysed, Tough Pitch)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in aer, cu oxigen (Cu ≥ 99,90 %)
4	Cu-DLP (Desoxygenized, Low Phosphorus)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in aer, dezoxidat cu fosfor, cu conţinut scăzut de fosfor (Cu ≥ 99,90 %) (P = 0,004-0,012 %)
5	Cu-OF (Oxygen Free)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in atmosferă inertă, fără oxigen (Cu = 99,95 %)
6	Cu-OFE (Oxygen Free Electronic)	Cupru rafinat electrolitic, retopit in atmosferă inertă, fără oxigen, pentru aplicaţii în electronică (Cu = 99,99 %)
7.	CuZn36Pb3	Aliaj pe bază de cupru cu Zn = 36 % şi Pb = 3 %, deformabil (Alamă cu zinc şi plumb)
8	GS CuZn40MnAl	Aliaj pe bază de cupru cu Zn = 40 %, Mn < 1 % şi Al < 1 %, turnat în amestec de formare (Alamă cu mangan şi aluminiu)
9	GM CuZn40MnAl	Aliaj pe bază de cupru cu Zn=40 %, Mn <1 % şi Al <1 %, turnat în cochilă (Alamă cu mangan şi aluminiu)
10	CuAl1Fe5Ni5	Aliaj pe bază de cupru cu Al = 1 %, Fe = 5 % şi Ni = 5 %, deformabil (Aluminiul este elementul principal de aliere; conţinuturile de fier şi nichel sunt menţionate în ordine alfabetică)
11	CuNi18Zn27	Aliaj pe bază de cupru cu Ni = 18 % şi Zn = 27 %, deformabil (Maillechort) (Nichelul este elementul principal de aliere)

VII.2.5. Exemple de mărci de cupru şi aliaje pe bază de cupru conform unor STAS-uri

Nr. crt	Marca cuprului sau aliajului pe bază de cupru	STAS	Categoria cuprului sau aliajului pe bază de cupru
1	Cu A	643-80	Cupru de convertizor (Cu ≥ 99,95 %)
2	Cu 99,7 k	270-80	Cupru rafinat electrolitic, în catozi (Cu ≥ 99,97 %)
3	Cu 99,5 k	270-80	Cupru rafinat electrolitic, în alte forme (Cu ≥ 99,95 %)
4	Cu 99,98	270-80	Cupru rafinat electrolitic, retopit in atmosferă inertă, turnat continuu, fără oxigen (Cu = 99,98 %)
5	CuZn10	95-80	Alamă fără plumb, deformabilă (Zn = 10 %)
6	CuZn39Pb2	95-80	Alamă cu plumb, deformabilă (Zn = 39 %; Pb = 2 %)
7	CuZn40PbT	199 / 2-86	Alamă cu plumb, de turnătorie (Zn = 40 %; Pb < 1 %)
8	CuSn6	93-80	Bronz cu staniu, deformabil (Sn = 6 %)
9	CuSn14T	197 / 2-83	Bronz cu staniu, de turnătorie (Sn = 14 %)
10	CuAl9Mn2	203-80	Bronz cu aluminiu, deformabil (Al = 9 %; Mn = 2 %)
11	CuAl10Fe3T	198 / 2-81	Bronz cu aluminiu, de turnătorie (Al = 10 %; Fe = 3 %)

VII.3. Tratamentele termice ale cuprului şi aliajelor sale

Tratamentele termice principale ale cuprului şi aliajelor sale sunt:

-durificarea prin călire;

-recoacerea de omogenizare;

-restaurarea;

-recristalizarea.

Durificarea prin călire se aplică aliajelor cuprului, care prezintă transformare eutectoidă la echilibru (Cu-Sn; Cu-Al).

Recoacerea de omogenizare este utilizată când segregația dendritică a pieselor turnate din aliajele cuprului este excesivă.

Tratamentele de restaurare şi de recristalizare sunt aplicate după deformarea plastică la rece a cuprului şi aliajelor sale.

PARTEA II
MATERIALE NEMETALICE

CAPITOLUL VIII
LEMNUL

VIII.1. Introducere

Lemnul (lat. lignum) este unul din cele mai vechi materiale utilizate de oameni la care, în prezent, diferența dintre cerere şi ofertă este tot mai mare. Din acest motiv se impune o cât mai bună cunoaştere a lemnului, care să permită:

-creşterea randamentului de utilizare al lemnului;
-îmbunătățirea actualelor tehnologii de prelucrare a lemnului;
-apariția altor tehnologii de prelucrare a lemnului;
-atragerea în circuitul productiv a noi specii de sortimente lemnoase;
-găsirea de noi căi de înlocuire a materialului lemnos.

Randamentul de utilizare a lemnului (η_L) este raportul procentual dintre cantitatea de lemn care se regăseşte în produsul finit (Q_o) şi cantitatea de lemn care intră în fluxul de fabricație (Q_i):

$$\eta_L = \frac{Q_o}{Q_i} 100 \qquad (75)$$

Îmbunătățirea actualelor tehnologii de prelucrare a lemnului, precum şi apariția altor noi se realizează întotdeauna pe baza adâncirii cunoaştințelor despre lemn.

Un exemplu de atragere în circuitul productiv a noi specii de sortimente lemnoase este utilizarea crăcilor de lemn şi a deşeurilor de fabricație.

Un exemplu elocvent de găsire de noi căi de înlocuire a materialului lemnos este fabricarea sodei de rufe, care până în anul 1940 folosea ca materie primă cenuşa de lemn.

Principalele produse obținute din lemn sunt următoarele:

- -semifabricatele din lemn obişnuit:
  - -cheresteaua;
  - -furnirul;
  - -parchetul;
- -semifabricatele din lemn ameliorat:
  - -fizico-mecanic:
    - -placajul;
    - -panelul;
    - -plăcile celulare;
  - -fizico-chimic:

  - -lemnul masiv;

-plăci din fibre de lemn (PFL);
-plăci din aşchii din lemn (PAL);.
-traverse de cale ferată;

-celuloza;
-ambalajele:
-doagele de butoi;
-cutiile;
-mobila;
-instrumentele muzicale;
-articolele sportive.

Cheresteaua se poate clasifica după următoarele criterii:

-după gradul de prelucrare:
-cheresteaua neecarisată;
-cherestea ecarisată:
-tivită,
-rindeluită;
-aburită;
-după formă:
-scândurile;
-grinzile;
-riglele;
-şipcile;
-lăturoaiele;
-după dimensiuni:
-cherestea lungă (1,8-3m);
-cherestea scurtă (1,0-1,7m);
-cherestea subscurtă (0,45-0,95m);
-după umiditate:
-cherestea verde (umiditate superioară de 30 %);
-cherestea zvântată (25 - 29 % umiditate);
-cherestea semizvântată (18-24 % umiditate);
-cherestea uscată (15-17 % umiditate);
-după specia lemnoasă:
-cherestea de răşinoase;
-cherestea de foioase;
-după destinaţie:
-cherestea pentru construcţie,
-cherestea pentru mobilă;
-cherestea cu destinaţie specială.

Cheresteaua se obţine prin tăiere în gatere sau cu ferăstraie speciale.

Furnirele sunt foi cu grosimea de 0,08 - 6 mm. Ele se obţin fie prin decupare, fie prin derularea buştenilor.

Furnirele pot fi clasificate astfel:

-după modul de derulare:
-furnire excentrice;
-furnire centrice;

-după direcţia planului de debitare:

-furnire tangențiale;
-furnire semitangențiale;
-furnire radiale;

-după desen:

-furnire cu flăcări;
-furnire înflorate;
-furnire cu ochiuri;
-furnire cu dungi late;

-după destinație:

-furnire tehnice;
-furnire estetice.

Parchetul este format din lamele prevăzute cu lambă şi uluc. Parchetul se poate clasifica după specia lemnoasă astfel:

-parchetul din lemn de stejar;
-parchetul din lemn de fag;
-parchetul din lemn de nuc;
-parchetul din lemn de anin;
-parchetul din lemn de carpen;
-parchetul din lemn de paltin;
-parchetul din lemn de mesteacăn.

Placajul este format dintr-un număr impar de foi de furnir, suprapuse, cu direcția fibrelor perpendiculară, alternativ de la un strat la altul.

Panelul este constituit dintr-un miez bloc sau din şipci, cuprins între două straturi de furnir, care au fibrele perpendiculare pe direcția miezului.

Panelul poate fi clasificat astfel:

-după specia lemnoasă:

-panelul din lemn de fag;
-panelul din lemn de anin;
-panelul din lemn de plop;

-după grosime:

-panelul de 16 mm;
-panelul de 19 mm;
-panelul de 22mm;
-panelul de 25 mm;
-panelul de 40 mm.

Plăcile celulare (plăcile sandwich) sunt formate dintr-o ramă cu miezul prevăzut cu goluri, iar pe cele două fețe se fixează placaje, plăci din fibre de lemn (PFL) etc.

Plăcile celulare pot fi clasificate astfel:

-după natura fețelor:

-plăci cu fețe din placaj;
-plăci cu fețe din furnir estetic;
-plăci cu fețe din PFL;
-plăci cu fețe din PAL;
-plăci cu fețe melaminate;
-plăci cu fețe emailate.

-după structura miezului:

-plăci de tip A (cu miez din elemente spirale);
-plăci de tip B (cu miez din fâşii frânte);

Ameliorarea fizico-chimică constă în următoarea succesiune de operații:

-aducerea lemnului sub formă de fibre, aşchii, făină;
-impregnarea cu răşini,
-presarea la o anumită temperatură.

Lemnul masiv se poate clasifica astfel:

-lemnul metalizat;
-lemnul bachelizat;
-lemnul stratificat.

Plăcile din fibre de lemn (PFL) sunt alcătuite din fibre de lemn obținute prin defibrilare mecanică sau chimică (cu răşini fenolice), împletite sau încleiate.

Plăcile din fibre de lemn (PFL) pot fi clasificate astfel:

-după procedeul de fabricație:
    -PFL-uri umede;
    -PFL-uri uscate;
    -PFL-uri semiuscate;
-după structura secțiunii transversale:
    -PFL-uri omogene;
    -PFL-uri stratificate;
    -PFL-uri perforate;
-după natura liantului:
    -PFL-uri fără liant;
    -PFL-uri cu albumină;
    -PFL-uri cu colofoniu;
    -PFL-uri cu răşini fenolice;
-după densitate:
    -PFL-uri nepresate;
    -PFL-uri presate:
        -semidure;
        -dure;
        -extradure;
-după aspectul fețelor:
    -PFL-uri cu o față netedă;
    -PFL-uri cu ambele fețe netede;
    -PFL-uri cu desen în relief;
    -PFL-uri furniruite;
    -PFL-uri înnobilate:
        -melaminate;
        -emailate;
    -PFL-uri riflate;
    -PFL-uri canelate.
-după domeniul de utilizare:
    -PFL-uri de de uz general;
    -PFL-uri pentru construcții;
    -PFL-uri speciale.

-după tratamentul aplicat:

-PFL-uri standard;
-PFL-uri tratate termic;
-PFL-uri uleiate;
-PFL-uri impregnate;
-PFL-uri ignifugate;
-PFL-uri antiseptizate;
-PFL-uri texturate.

Plăcile din aşchii de lemn (PAL) sunt constituite din aşchii de lemn, deşeuri din stuf sau de cânepă, aglomerate cu lianți şi presate la o anumită temperatură.

Plăcile din aşchii de lemn (PAL) pot fi clasificate astfel:

-după forma aşchiilor:
-PAL-uri cu aşchii plate;
-PAL-uri cu aşchii măcinate;
-PAL-uri cu aşchii prelucrate;
-după structura secțiunii transversale:
-PAL-uri monostratificate;
-PAL-uri triplustratificate;
-după densitate:
-PAL-uri uşoare;
-PAL-uri semigrele;
-PAL-uri grele;
-după instalația de presare:
-PAL-uri presate la rece;
-PAL-uri presate prin extrudare;
-după aspectul fețelor:
-PAL-uri neşlefuite;
-PAL-uri şlefuite;
-PAL-uri furniruite;
-PAL-uri placate;
-PAL-uri înnobilate:
-melaminate;
-emailate;
-după tratamentul aplicat:
-PAL-uri standard;
-PAL-uri hidrofugate;
-PAL-uri ignifugate;
-PAL-uri antiseptizate.

Studierea lemnului are legături cu alte discipline în ambele sensuri astfel:

-în jos, cu disciplinele legate de silvicultură, de la care preia:
-modalitatea de formare a lemnului;
-părțile componente ale arborelui;
-influența condițiilor de mediu asupra creşterii arborilor;
-în sus, cu disciplinele legate de fizica, rezistența şi prelucrarea lemnului.

VIII.2. Compoziția chimică a lemnului

Compoziția chimică a lemnului este următoarea:
-50 % carbon;
-43 % oxigen;
- 6 % azot;
- 1 % alte elemente:
    -calciu;
    -fier;
    -mangan;
    -aluminiu;
    -fosfor etc.

Lemnul este alcătuit din următorii compuşi chimici:
-principali:
    -celuloză;
    -lignină;
-secundari:
    -răşini;
    -tananți;
    -coloranți;
    -albumine;
    -minerale.

Celuloza are formula brută $(C_6H_{10}O_5)_n$ şi este o polizaharidă formată din monomeri de β glucoză anhidră, care formează lanțuri lungi, cu grad ridicat de polimerizare (Fig. 105).

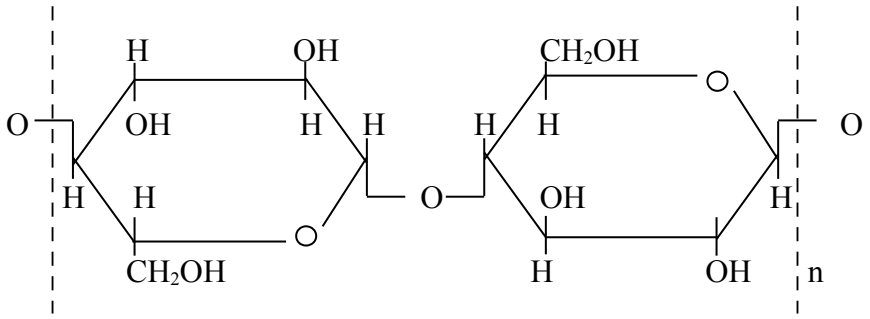


Fig.105
Formula structurală de perspectivă a celulozei

Au fost identificate trei tipuri de celuloză:

-celuloza α, care are cel mai mare grad de polimerizare (circa 1000 la arbori şi de 3000 la bumbac);

-hemiceluloza, care are un grad de polimerizare sub 150, care poate fi:

-celuloza β;

-celuloza γ.

Celuloza are:

-masa molară: M ≈ 162000 – 486000 (162x 1000-162x3000, în funcție de gradul de polimerizare);

-masa volumică: $\rho \approx 1{,}5$ kg / dm^3.

Celuloza este insolubilă în apă şi solvenți organici, se umflă în soluție de hidroxid de sodiu şi se dizolvă în reactivul Schweitzer (soluție de hidroxid de cupru în amoniac).

Celuloza reprezintă 40 - 50 % din masa lemnului. Lemnul de răşinoase conține mai multă celuloză decât lemnul de foioase. Pe înălțimea arborelui, conținutul de celuloză scade de la bază spre coroană.

Utilizările celulozei sunt variate, constituind materia primă pentru fabricarea::

-hârtiei;

-ambalajelor;

-nitrocelulozei;

-rinichiului artificial etc.

Lignina este un polimer cu o formulă complicată, încă nedeterminată, conținând grupe metoxil (OCH_3).−

Lignina este insolubilă în apă şi solvenți organici.

Conținutul de lignină este de 15-30 % din masa lemnului, fiind mai mare pentru lemnul de răşinoase. Pe înălțimea arborelui, conținutul de lignină creşte de la bază spre coroană.

Lignina joacă rolul de liant al fibrelor de celuloză. La obținerea hârtiei de calitate superioară din lemn, lignina este îndepărtată prin diferite procedee.

Compuşii secundari dau mirosul şi gustul lemnului. Prezența compuşilor secundari face dificilă prelucrarea lemnului, ca în cazul încleierii sau finisării prin reacțiile cu adezivi şi, respectiv, lacuri.

Unii compuşi secundari ai lemnului sunt deosebit de importanți:

-latexul;

-taninul;

-chinina;

-camforul etc.

Latexul, secretat de arborele de cauciuc Hevea Brasiliensis, este un lichid alb, care conține aproximativ:

-60 % apă;

-35 % mici particule de cauciuc natural;

-4 % proteine;

-1 % alte substanțe.

Taninul este extras, în special, din scoarţa sau frunzele stejarului şi este utilizat la tăbăcirea pieilor. Chinina este extrasă din scoarța arborelui de chinină şi este utilizată la tratamentul malariei. Camforul este extras din frunzele arborelui de camfor şi este utilizat sub formă de ulei camforat ca stimulator al centrilor nervoşi vasomotori sau respiratori din măduvă.

VIII.3. Structura lemnului

VIII.3.1. Secțiuni principale prin lemn

Lemnul este un material deosebit de complex alcătuit din celule vegetale, generate prin procesul specific de diviziune cambiană.

Cea mai mare parte a celulelor lemnoase mor încă din timpul vieții arborelui, iar pereții lor (membrana celulară) constitue lemnul propriu-zis.

Dispunerea elementelor structurale ale lemnului variază în funcție de poziția lor în arbore (rădăcină, trunchi, crengi), precum şi de planul de secționare.

Principalele planuri de secționare prin lemn sunt următoarele (Fig.106):

-planul transversal, care rezultă prin tăierea perpendiculară pe măduva lemnului;

-planul longitudinal-radial, care rezultă prin tăierea paralelă cu măduva lemnului şi care trece prin măduva lemnului;

-planul longitudinal-tangențial, care rezultă prin tăierea paralelă cu măduva lemnului şi care nu trece prin măduva lemnului.

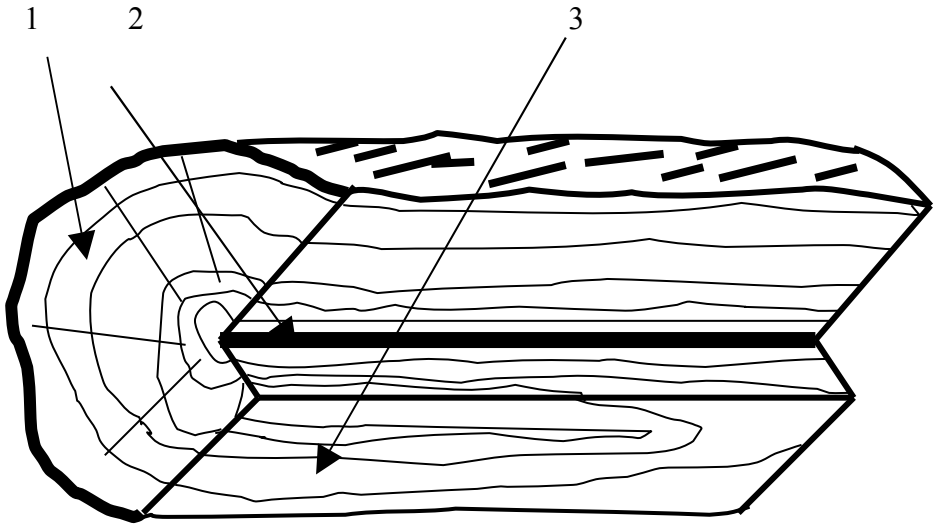


Fig. 106
Planuri principale de tăiere prin lemn:
1-planul transversal; 2-planul longitudinal-radial;
3- planul longitudinal-tangențial.

În practică se utilizează şi alte planuri de tăiere decât cele principale, numite planuri derivate ale lemnului, printre care este remarcabil planul circular (Fig.107), realizat prin tăierea lemnului după spirala lui Arhimede, utilizat la obținerea furnirelor.

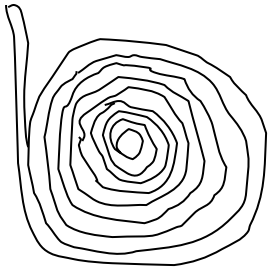


Fig.107
Plan circular de tăiere după spirala lui Arhimede

VIII.3.2. Structura membranei celulare

Membrana celulară (Fig.108) este formată din următoarele elemente structurale:
-peretele primar;
-peretele secundar, format din trei straturi:
-extern;
-mijlociu;
-intern.

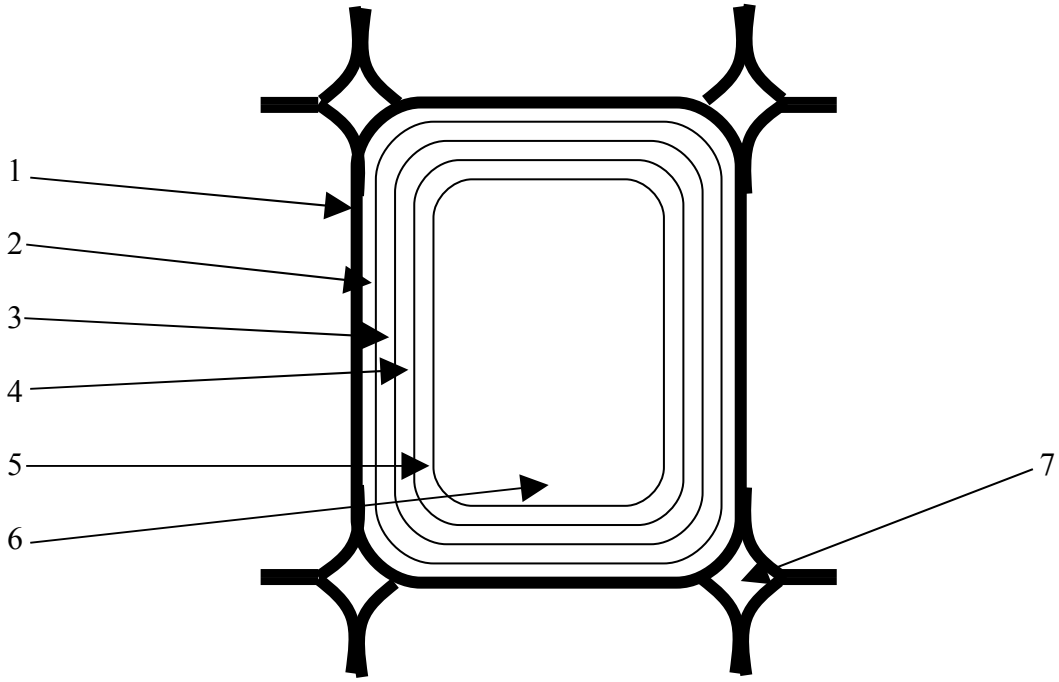


Fig.108
Membrana celulară:
1- stratul de lipire; 2 - peretele primar; 3 - stratul exterior al peretelui secundar;
4 - stratul mijlociu al peretelui secundar; 5 - stratul interior al peretelui secundar;
6 - lumenul; 7 - spațiul intercelular.

Peretele primar este format dintr-un singur strat, având un conținut redus de microfibrile celulozice şi o grosime de 0,1 μm.

Peretele secundar, numit şi peretele de îngroşare este format din trei straturi, având un conținut ridicat de microfibrile celulozice (95 %).

Grosimea straturilor peretelui secundar este următoarea:

-de 0,07-0,3 μm pentru stratul exterior;

-de 1-5 μm pentru stratul mijlociu;

-de 0,05-0,08 μm pentru stratul interior.

Stratul de lipire are un conținut redus de microfibrile hemicelulozice, dar multă lignină şi o grosime maximă de 2 μm.

Membrana celulelor poate prezenta punctuații, numite şi pori parietali, care sunt mici zone unde nu s-a format peretele secundar la două celule învecinate. Aceste punctuații permit transferul de substanțe între două celule învecinate.

Punctațiile pot fi:

-simple (Fig.109.a);

-areolate (Fig.109.b);

-semiareolate (Fig.109.c).

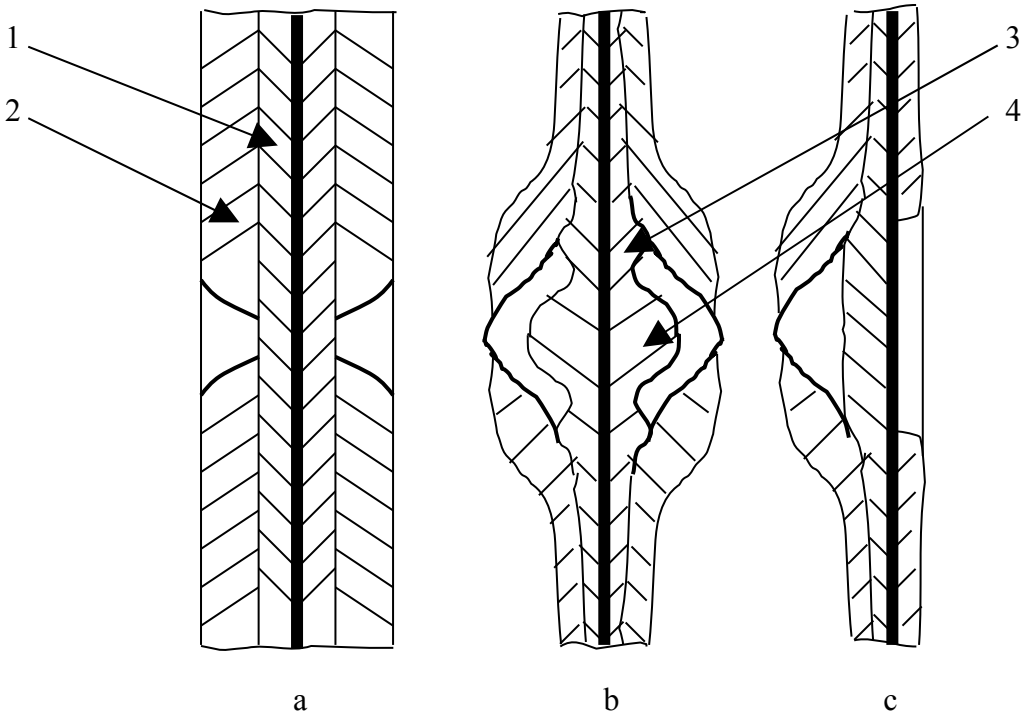


Fig.109
Punctuații sau pori parietali:
a-punctuații simple; b- punctuații areolate; c- punctuații semiareolate.
1-perete primar; 2-perete secundar; 3-membrană (zonă îngustă);
4-torus (îngroşare).

Punctuația simplă este o perforare cilindrică a pereților secundari.

Punctuația areolată are perforația mai lărgită spre peretele primar, iar marginile peretelui secundar au o formă de areolă. În acest caz, peretele primar prezintă:

-îngroşări, numite torusuri;

-zone înguste, numite membrane.

Memranele sunt prevăzute cu mici orificii care permit schimbul de substanțe între cele două celule.

Dacă peretele unei celule are modificările punctuației simple, iar peretele celulei vecine are modificările punctuației areolate, atunci punctuația se numeşte semiareolată.

Unitatea de bază a membranei celulare este microfibrila celulozică, alcătuită dintr-un număr de 10 - 24 lanțuri de macromolecule de celuloză, dispuse paralel, formând una sau mai multe micele sau cristalite. În general, microfibrila are o grosime de 100 - 300 Å.

Micela are forma unui paralelipiped cu dimensiunile aproximative de 600x50x50 Å. La capete, conform teoriei micelelor franjurate, firele macromoleculare de celuloză sunt libere şi pot intra în constituția altor micele ale aceleiaşi microfibrile sau a altor microfibrile.(Fig.110). Franjurii au grad de ordonare mic şi formează microzone amorfe, în timp ce micelele (cristalitele) formează microzone cristaline. Spațiile dintre două micele paralele sunt de aproximativ 10 Å, iar spațiile dintre două micele dispuse cap la cap sunt de aproximativ o treime din lungimea microfibrilei.

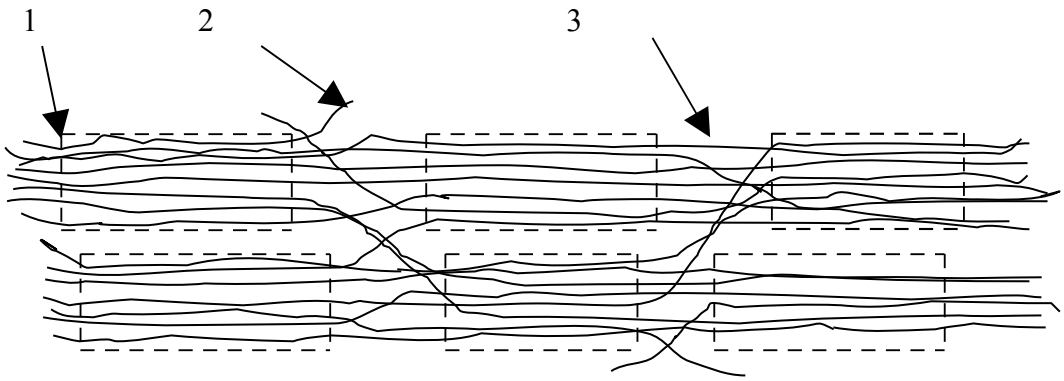


Fig. 110
Structura unei microfibrile:
1-micelă (cristalit); 2-macromoleculă de celuloză; 3-microzonă amorfă.

Această structură asigură o rezistență ridicată la solicitări paralele cu fibrele lemnului şi explică umflarea lemnului datorită pătrunderii apei în spațiile dintre micelele paralele şi în microzonele amorfe.

Pentru explicarea comportamentului specific lemnului, s-a propus un model al microfibrilei (ipoteza Rogovin), la care partea centrală este ocupată de lanţuri de macromolecule de celuloză cu grad mare de polimerizare şi de ordonare, iar periferia este ocupată de lanţuri de macromolecule de hemiceluloză cu grad mic de polimerizare şi de ordonare (Fig.111).

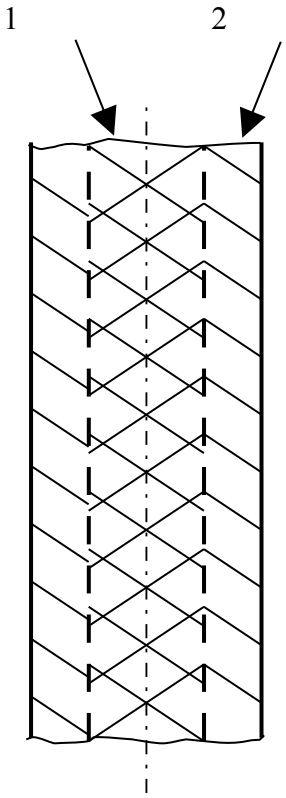


Fig. 111
Zonele unei microfibrile:
1-zonă centrală cu grad ridicat de ordonare din macromolecule de celuloză;
2- zonă periferică cu grad scăzut de ordonare din macromolecule de hemiceluloză.

Rezultă că zona periferică a microfibrilei prezintă microzone amorfe repartizate statistic uniform. Astfel, zona centrală este hidrofugă, iar zona periferică a microfibrei poate absorbi apă (prehidroliza lemnului).

VIII.3.3. Elementele anatomice individuale ale lemnului

În planul transversal al trunchiului unui arbore foios se disting următoarele elemente structurale principale (Fig.112):

-scoarța;
-cambiul;
-vasele lemnoase;
-vasele liberiene;
-fibrele lemnoase;
-celulele de parenchim radial.

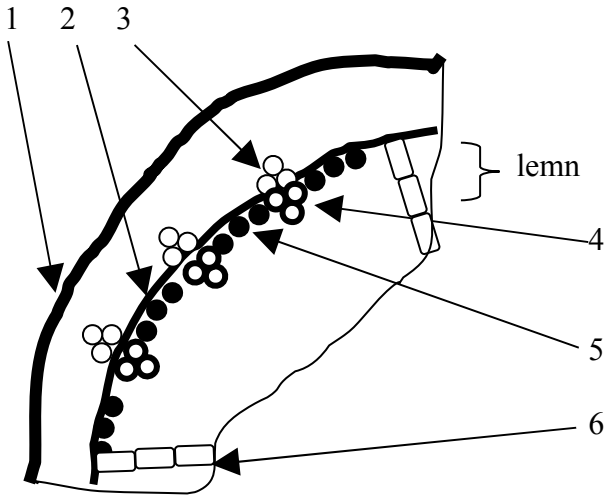


Fig.112
Elemente structurale principale ale trunchiului unui arbore foios:
1 - scoarța; 2 - cambiul; 3 - vasele liberiene grupate; 4 - vasele lemnoase grupate;
5 - fibre lemnoase, 6 - celule de parenchim radial.

Scoarța asigură impermeabilitatea trunchiului. Cambiul este un inel de celule aflat sub scoarță, care generează vasele liberiene la exterior şi vasele lemnoase la interior, asigurând creşterea în grosime. Prin vasele lemnoase trece seva brută, iar prin vasele liberiene trece seva elaborată. Vasele lemnoase se impregnează cu lignină şi devin o masă lemnoasă. În celulele de parenchim radial sunt depozitate substanțe nutritive de rezervă.

În planul transversal al trunchiului unui arbore răşinos se disting următoarele elemente structurale principale (Fig.113):

-scoarța;
-cambiul;
-traheidele axiale;
-vasele liberiene;
-celulele de parenchim radial.

Traheidele axiale joacă rolul vaselor lemnoase la arborii foioşi.

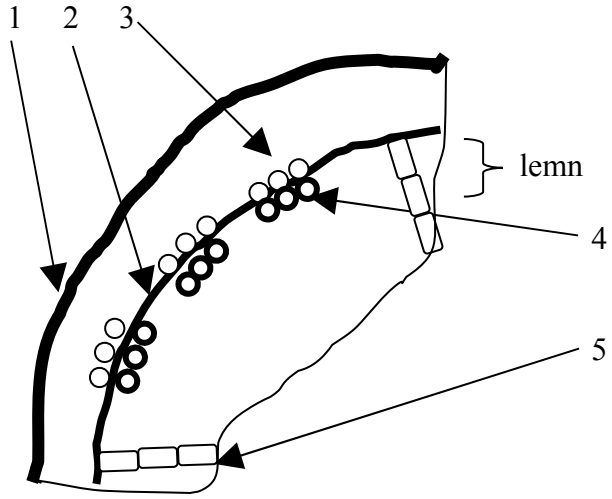


Fig.113
Elemente structurale principale ale trunchiului unui arbore răşinos:
1-scoarța; 2- cambiul; 3- vasele liberiene; 4-traheidele axiale;
5-celulele de parenchim radial.

Elementele anatomice individuale ale lemnului pot fi grupate astfel:

-după forma lor:

-elemente anatomice prosenchimatice, care au o formă mult alungită;

-elemente anatomice parenchimatice, care nu au o formă alungită sau au o formă foarte puțin alungită;

-după poziția lor:

-elemente anatomice longitudinale, care sunt paralele cu axa fiziologică a lemnului;

-elemente anatomice transversale, care sunt perpendiculare cu axa fiziologică a lemnului.

Principalele elementele anatomice individuale ale lemnului de foioase sunt următoarele:

-elementele prosenchimatice:

-longitudinale:

-vasele lemnoase (traheele);

-traheidele:

-vasculare;

-circumvasculare;

-fibrele lemnoase;

-transversale: nu este cazul;

-elementele parenchimatice:
-longitudinale:
-celule de parenchim longitudinal;
-celulele epiteliale ale canalelor gumifere longitudinale;
-transversale:
-celule de parenchim radial,
-celule epiteliale ale canalelor gumifere transversale.

Principalele elementele anatomice individuale ale lemnului de răşinoase sunt următoarele:

-elementele prosenchimatice:
-longitudinale:
-traheide:
-axiale;
-marginale;
-transversale:
-traheida de rază medulară;
-elementele parenchimatice:
-longitudinale:
-celule de parenchim longitudinal;
-celulele epiteliale ale canalelor rezinifere longitudinale;
-transversale:
-celule de parenchim radial,
-celule epiteliale ale canalelor rezinifere transversale.

Fibrele lemnoase reprezintă 55 % din volumul lemnului de foioase. Ele sunt celule alungite, cu pereți groşi, închise la capete (Fig.114). Capetele pot fi:

-ascuțite;
-dințate ;
-bifurcate.

În secțiune transversală fibrele lemnoase sunt poligonale.

Dimensiunile celulelor fibrelor lemnoase sunt următoarele:

-lungimea: L = 0,1-7mm;
-lățimea şi grosimea (raza): l = 5-50 μm;
-grosimea membranei: g = 2-7 μm.

Lungimea fibrelor creşte cu vârsta arborelui, astfel că ea este mai mare la periferia trunchiului.

Vasele lemnoase (traheele) sunt tipice pentru lemnul speciilor foioase şi au rolul de a conduce seva brută de la rădăcină la frunze. Proporția volumică a vaselor lemnoase este diferită de la o specie la alta, fiind de 2-65 %. Vasele lemnoase sunt celule alungite, cu pereți subțiri şi lumen mare (Fig. 115).

Pereții transversali ai vaselor lemnoase sunt perforați pentru a permite transportul sevei brute. La lemnul matur pereții longitudinali prezintă punctuații pentru a face posibil schimbul de materii cu vasele vecine.

Vasele lemnoase pot fi clasificate astfel:

-după forma secțiunii transversale:
-circulare;
-ovale;
-poligonale;

-după dispunere:
-singulare;
-grupate:
-multiple (Fig.116.a);
-în lanţuri (Fig.116.b);
-în cuiburi (Fig.116.c).

Dimensiunile vaselor lemnoase sunt următoarele:
-lungimea: L = 0,1-2mm;
-lăţimea şi grosimea (raza): l = 12-65 μm;
-grosimea membranei: g = 1,5-3 μm.

După încetarea funcţei de conducere a sevei brute, vasele lemnoase se umplu total sau parţial cu tile. Tilele sunt ecrescenţe de natură celulozică ale celulelor de parenchim radial sau longitudinal care pătrund în lumen prin punctuaţiile pereţilor vaselor lemnoase. Uneori, în lumenul vaselor lemnoase sunt depozitate şi alte substanţe.

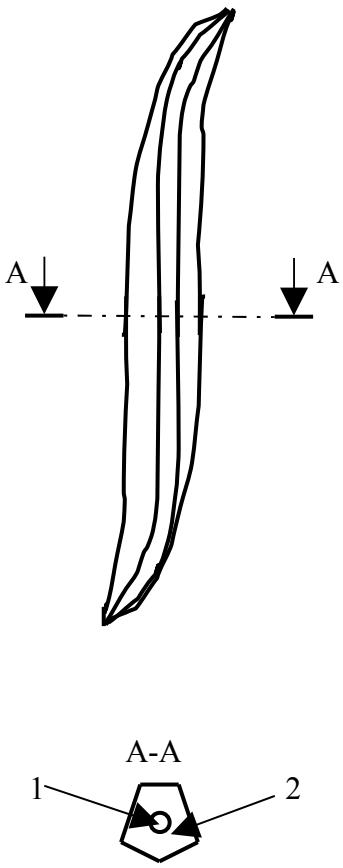


Fig.114
Fibra lemnoasă:
1-lumen; 2-perete.

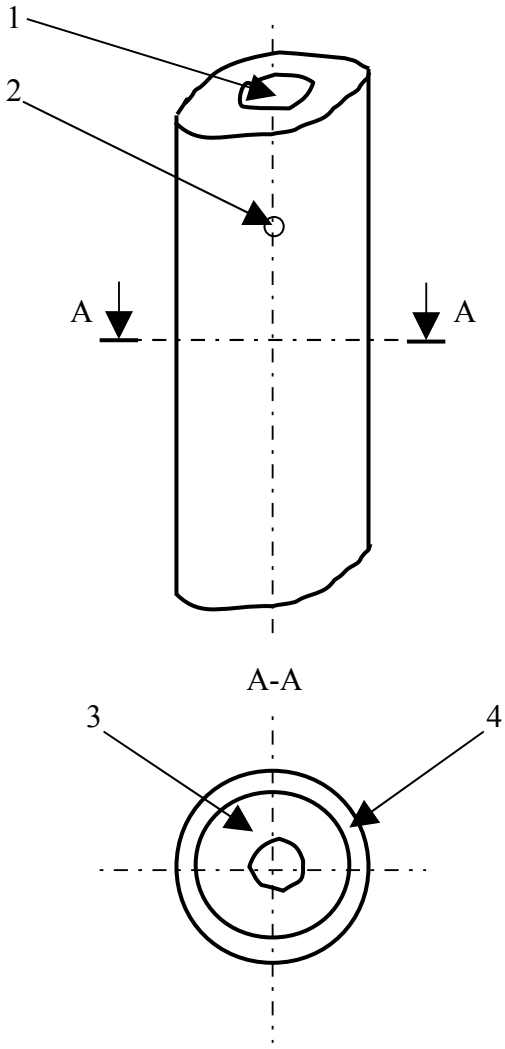
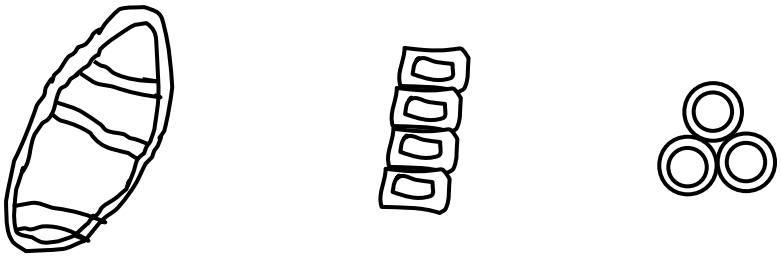


Fig.115
Vas lemnos cu scțiune transversală rotundă:
1-perforație; 2-punctuație; 3-lumen; 4-perete.



a b c

Fig.116
Dispunerea vaselor de lemn:
a-dispunere multiplă; b- dispunere în lanțuri, c- dispunere în cuiburi.

Perforațiile pereților transversali ai vaselor lemnoase pot fi clasificate astfel:
-după forma secțiunii transversale:
-circulare;
-ovale;
-după dispunere:
-singulare;
-grupate:
-în cuiburi (Fig.117.a)
-reticulare (Fig.117.b);
-în scară (Fig.117.c).

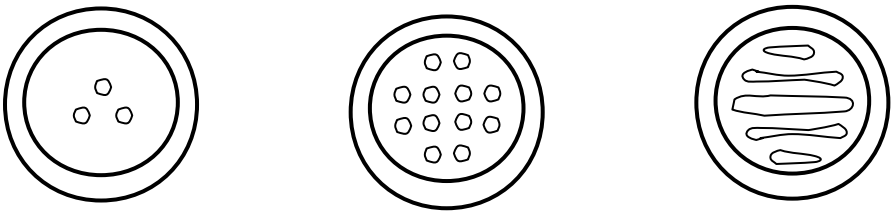


Fig.117
Perforații ale pereților transversali ai vaselor lemnoase:
a- în cuiburi; b- reticulare; c- în scară.

Celulele de parenchim lemnos longitudinal sunt dispuse cap la cap în direcție longitudinală, formând un cordon de diferite lungimi (Fig.118).

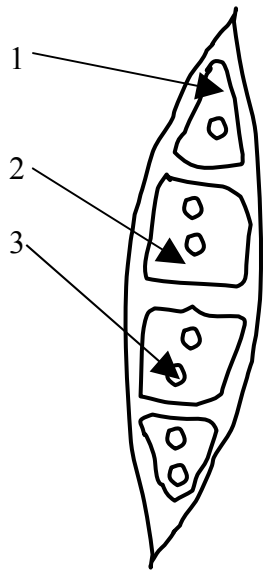


Fig.118
Celulă de parenchim lemnos longitudinal:
1-celulă de capăt, 2- celulă de mijloc; 3-punctuație.

Lungimea cordonului de celule de parenchim lemnos longitudinal este mai mare la răşinoase decât la foioase. Celulele de capăt au un capăt ascuțit şi unul plat, în timp ce celulele de mijloc au ambele capete plate.

Punctuațiile sunt diferite, în funcție de celula vecină. Punctuațiile lipsesc dacă celula vecină este un vas lemnos

Dimensiunile celulelor de parenchim lemnos longitudinal sunt următoarele:

-lungimea: L = 0,02-0,16mm;

-lățimea şi grosimea: l = 5-50 μm;

-grosimea membranei: g = 2-4,5 μm.

Proporția celulelor de parenchim lemnos longitudinal în volumul lemnului este următoarea:

-0 % la pin, molid şi tisă;

-1 % la brad;

-2-3 % la carpen şi tei;

-15 % la frasin;

-4-5 % la fag;

-6 % la salcâm;

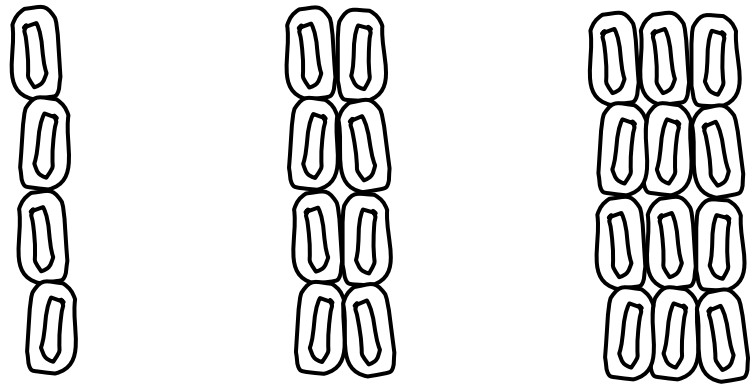
-8-12 % la nuc.

Celulele de parenchim lemnos radial sunt dispuse cap la cap în direcție radială şi în rânduri suprapuse pe verticală formând razele (simple şi medulare) ale lemnului.

Celulele de parenchim lemnos radial pot fi alungite:

-pe direcție radială, amplasate de-a lungul razelor lemnului, numite precumbente;

-pe direcție verticală, amplasate la capătul razelor medulare.



a b c

Fig.119
Dispunerea celulelor precumbente în razele omogene ale lemnului:
a-raze uniseriate; b-raze biseriate; 3-raze triseriate.

Este de remarcat faptul că razele lemnului pot fi:
-raze omogene, care conțin numai celule precumbente (Fig.119):
-uniseriate, formate dintr-un singur rând de celule;
-biseriate, formate din două rânduri de celule;
-triseriate, formate din trei rânduri de celule;
-multiseriate, formate din mai mult de trei rânduri de celule;
-raze eterogene, care conțin:
-la foioase:
-celule precumbente;
-celule alungite pe direcție verticală;
-la răşinoase:
-celule precumbente;
-traheide radial.

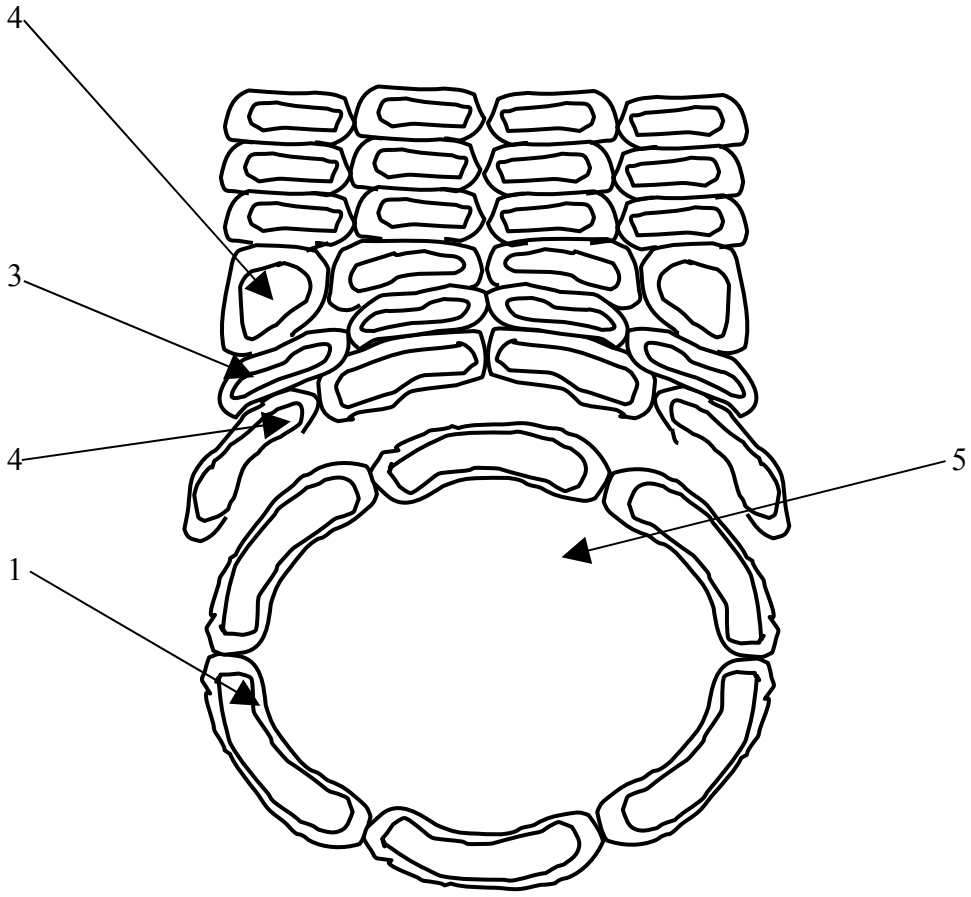


Fig.120
Celulă de paremchin epitelial a unui canal resinifer axial:
1-celulă de paremchin epitelial; 2- celulă separatoare; 3- celulă însoțitoare;
4-traheidă axială; 5-canal resinifer axial.

Aceste celule au următoarele dimensiuni:

-lungimea: L = 20-150 μm;

-lățimea şi înălțimea: l = 3-50 μm;

-grosimea membranei: g = 2-4,5 μm.

Proporția celulelor de parenchim lemnos radial în volumul lemnului este următoarea:

-1,2-50 % la lemnul de foioase

-4-14 % la lemnul de răşinoase.

Celulele de paremchin epitelial au rol fiziologic, secretând diferite substanțe: răşină, etc. Aceste celule sunt însoțite de două rânduri de celule:

-celule plate umplute cu aer, numite celule separatoare;

-celule de paremchin lemnos, numite celule însoțitoare.

Celule de paremchin epitelial a unui canal resinifer axial sunt prezentate în figura 16.

Traheidele axiale sunt tipice pentru lemnul speciilor lemnului de răşinoase. Proporția volumică a traheidele axiale este de 86-96 %. Traheidele axiale joacă rolul de:

-conducerea sevei brute de la rădăcină la frunze la lemnul timpuriu;

-rezistență la lemnul târziu.

La lemnul timpuriu, traheidele axiale au capetele rotunjite (Fig.121.a), iar la lemnul târziu au capetele ascuțite (Fig.121.b).

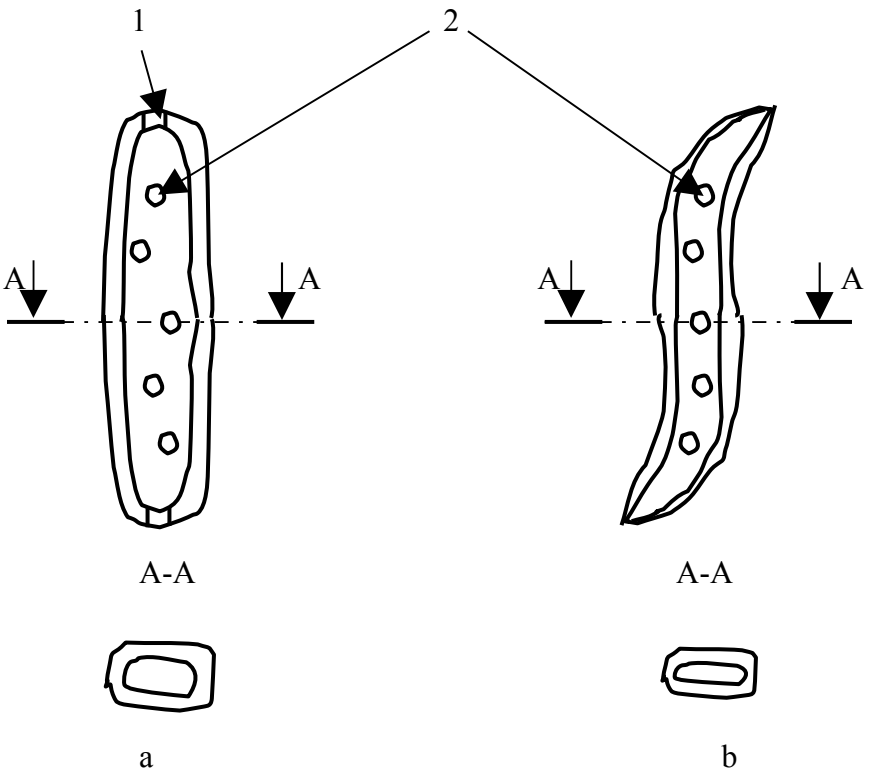


Fig.121

Traheide axiale:

a-traheide axiale cu capetele rotunjite, b- traheide axiale cu capete ascuțite.

1-perforație, 2-punctuații.

Aceste celule au următoarele dimensiuni:

-lungimea: L = 1,1-9,3 mm;

-lățimea şi grosimea: l = 6-60 μm;

-grosimea membranei: g = 2-12 μm.

Traheidele vasculare, circumvasculare, marginale, de rază medulară, etc.sunt specifice numai unor specii de arbori.

VIII.3.4. Elementele de structură macroscopică ale lemnului

Elementele de structură macroscopică ale lemnului sunt următoarele:
-alburnul;
-lemnul matur (duramen);
-inelele anuale de creştere;
-porii (vasele lemnului);
-razele lemnului;
-canalele intercelulare (canalele rezinifere şi gumifere);
-petele medulare,
-zonele de fibră şi paremchin lemnos;
-măduva.

Alburnul este zona exterioară a trunchiului şi crengilor, activă fiziologic, prin care circulă seva brută de la rădăcină la frunze, cu conținut mare de umiditate, de o culoare gălbui - albicioasă.

Lemnul matur este zona interioară a trunchiului şi crengilor, de aceeaşi culoare cu alburnul, inactivă fiziologic, cu rol de rezistență mecanică, la care, cu excepția celulelor parenchimatice, celelalte celulele sunt moarte, fiind umplute uneori cu tile sau compuşi chimici secundari.

La unele specii, zona interioară a trunchiului şi crengilor nu are aceeaşi culoare cu alburnul, fiind mai închisă, caz în care este denumită duramen.

Duramenul îşi închide culoarea după tăierea arborelui şi expunere la aer, fenomen care este accelerat la uscare. Culoarea duramenului obținută după uscare este specifică fiecărei specii lemnoase.

Astfel se poate face următoarea clasificare a speciilor lemnoase:
-fără duramen:
- -fagul;
- -carpenul;
- -paltinul;
- -mesteacănul;
- -teiul;
- -plopul tremurător;
- -arinul;
- -bradul;
- -molidul, etc;

-cu duramen:
- -nucul;
- -cireşul;
- -dudul;
- -salcâmul;
- -ulmul;
- -frasinul;
- -plopul alb,
- -plopul negru;
- -mahonul, etc.

În general, se observă o trecere bruscă a culorii de la alburn la duramen, cu unele excepții (nucul etc.).

Procesul de formare a lemnului matur sau a duramenului este denumit duramenificare.

Acest proces apare la o anumită vârstă, în funcție de specia lemnoasă şi de alți factori. În general, duramenificarea apare după 10-20 de ani, dar sunt şi excepții: 2-3 ani la salcâm şi 50-70 de ani la frasin.

Duramenul diferă de alburn nu nunai prin culoare, dar şi prin:

-conținut mărit de compuşi chimici secundari (tanin la stejar, răşină la pin);

-greutate sporită;

-rigiditate mai mare;

-mai puțin impregnabil.

Un lemn este cu atât mai valoros cu cât conținutul de duramen este mai mare.

Conținutul procentual de duramen (q_d) din lemn se poate calcula astfel:

$$q_d = \frac{n_d}{n_t} 100 \qquad (76)$$

în care:

-n_d este numărul de inele anuale ale duramenului;

-n_t este numărul total de inele anuale.

Dacă inelele nu sunt vizibile, conținutul procentual de duramen (q_d) din lemn se poate calcula astfel:

$$q_d = \frac{Ø_d}{Ø_t} 100 \qquad (77)$$

în care:

- $Ø_d$ este diametrul duramenului;

- $Ø_t$ este diametrul total al secțiunii transvesale prin lemn.

Inelele anuale de creştere apar datorită dezvoltării inegale a lemnului în diferitele anotimpuri (în cazul climei temperate) sau sezoane (în cazul climei tropicale). Astfel, lemnul indigen are inelul anual format din două zone:

-zona lemnului timpuriu, care apare în primele săptămâni ale primăverii, numit şi lemn de primăvară;

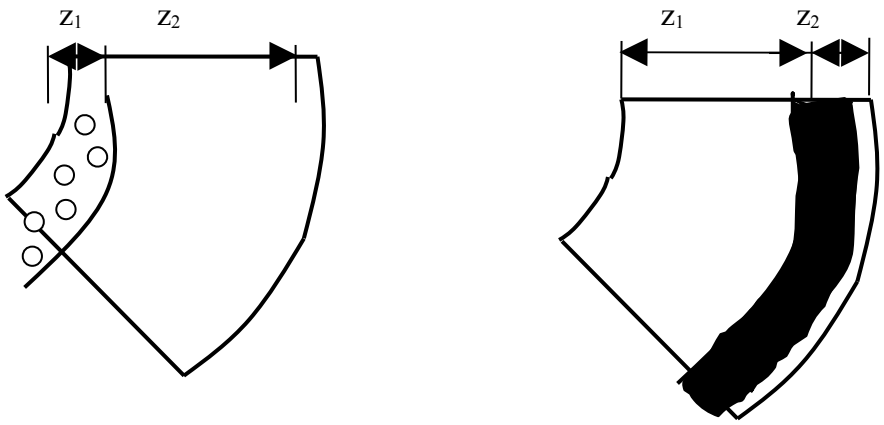
-zona lemnului târziu, care apare vara, numit şi lemn de vară.

Lemnul timpuriu este format din celule cu lumen mare şi pereți subțiri.

Lemnul târziu este alcătuit din celule cu lumen mic şi pereți groşi, motiv pentru care este mai dens şi mai închis la culoare decât lemnul timpuriu.

La unele specii, numite vărgate, cele două zone ale inelului anual de creştere se disting bine cu ochiul liber, iar la altele, numite omogene, această distincție este foarte dificilă.

La lemnul foiaselor, lemnul timpuriu (Fig.122.a) prezintă pori inelari tipici, iar la lemnul răşinoaselor, lemnul târziu (Fig.122.b) este mai închis la culoare decât lemnul timpuriu.



a b

Fig.122
Zonele inelelor anuale:
a - foioase; b - răşinoase;
z_1 - lemn timpuriu, z_2 – lemn târziu.

În secțiunea transversală, inelele anuale de creştere apar la majoritatea speciilor lemnoase sub formă de cercuri sau elipse (Fig.123).

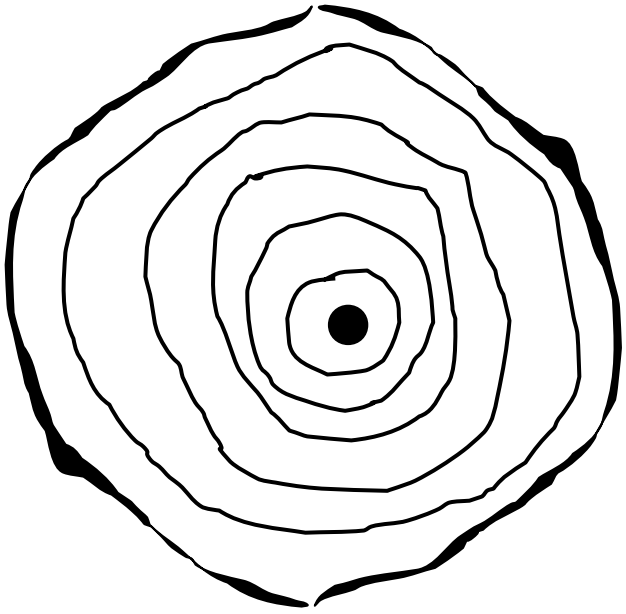


Fig.123
Inele anuale de creştere în secțiune transversală

Inelele anuale de creştere sunt vizibile datorită diferenţei:

-de porozitate dintre lemnul timpuriu (mai poros) şi lemnul târziu la speciile de foioase;

-de culoare dintre lemnul târziu (mai închis la culoare) şi lemnul timpuriu la speciile de răşinoase.

Neomogenitatea lemnului prin prezenţa inelelor de creştere anuală, la care zona de lemn târziu este mai rezistentă decât cea de lemn timpuriu (mai poros) a dus la stabilirea unor indici caracteristici ai inelelor anuale, care dau informaţii privind calitatatea lemnului. Aceşti indici sunt următorii:

-lăţimea medie a inelelor de creştere anuală (λ_m);

-neregularitatea lăţimii inelelor anuale (λ_r);

-conţinutul procentual de lemn târziu (q_2);

-conţinutul procentual de lemn timpuriu (q_1).

Lăţimea medie a inelelor de creştere anuală (λ_m) este calculată cu relaţia:

$$\lambda_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}{n} \qquad (78)$$

în care λ_i este lăţimea inelului de creştere anuală i.

Neregularitatea lăţimii inelelor anuale (λ_r) este calculată cu relaţia:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_{max} - \lambda_m}{\lambda_m} 100 \qquad (79)$$

în care: λ_{max} este lăţimea maximă a inelelor;

λ_m - lăţimea medie a inelelor de creştere anuală.

Conţinutul procentual de lemn târziu (q_2) este calculat cu relaţia:

$$q_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_{i2}}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} 100 \qquad (80)$$

în care: λ_{i2} este lăţimea zonelor de lemn târziu a inelului de creştere anuală i;

λ_i - lăţimea inelului de creştere anuală i.

Conţinutul procentual de lemn timpuriu (q_1) este calculat cu relaţia:

$$q_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_{i1}}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} 100 \qquad (81)$$

în care: λ_{i1} este lăţimea zonelor de lemn timpuriu a inelului de creştere anuală i;

λ_i - lăţimea inelului de creştere anuală i.

Porii sunt găuri fine care sunt vizibile în secţiunile transversale ale lemnului datorită prezenţei diferitelor tipuri de vase prin care circulă seva brută de la rădăcină la frunze.

În cazul lemnului de foioase, care au vase lemnoase (traheele) cu lumen mare, porii sunt vizibili cu ochiul liber sau cu ajutorul lupei.

În cazul lemnului de răşinoase, care au traheide axiale cu lumen de aproximativ 10 ori mai mic decât vasele lemnoase (traheele) ale lemnului foioaselor, pori nu mai sunt vizibili cu ochiul liber.

Mărimea şi distribuţia porilor în inelul de creştere anuală sunt specifice şi constituie criterii de identificare a diferitelor specii de lemn.

Razele lemnului (Fig.124) sunt alcătuite din celule de paremchin radial şi pot fi:

-raze simple, care pornesc dintr-un inel de creştere anuală şi ajung la coajă;

-raze medulare, care pornesc din măduvă şi ajung la coajă.

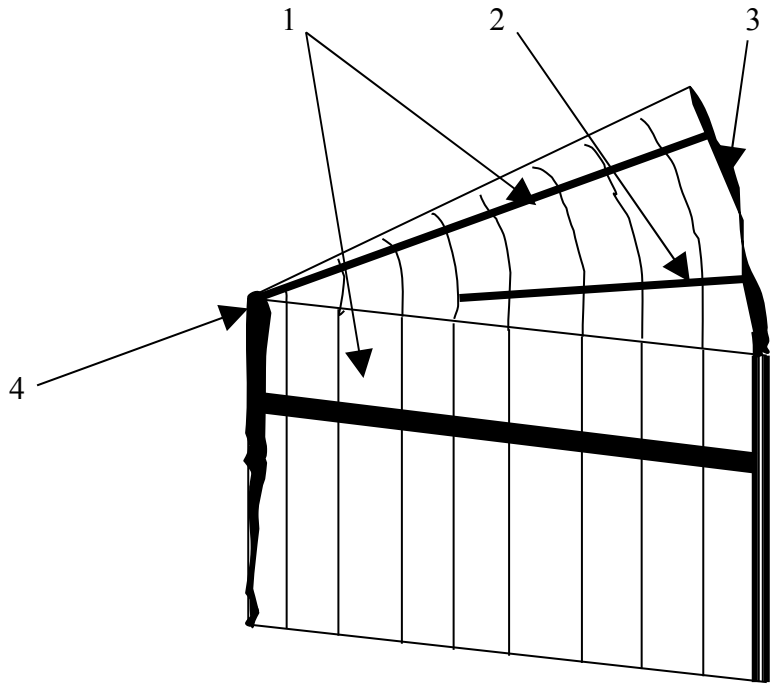


Fig.124.
Razele lemnului:
1-rază medulară; 2-rază simplă; 3- coajă; 4-măduvă.

Rolul razelor lemnului este următorul:

-de înmagazinare a substanţelor nutritive;

-de conducere a apei spre coajă.

Razele lemnului au lăţimea diferită, astfel că uneori nu pot fi percepute cu ochiul liber, în timp ce înălţimea lor suficient de mare, ca să le facă vizibile de cele mai multe ori.Astfel, înălţimea razelor medulare poate fi:

-0,5 mm la frasin;
-5 mm la fag;
-16 mm la ulm;
-50 mm la stejar;
-200 mm la carpen.

Canalele intercelulare sunt formate din celule de paremchin epitelial care secretă compuşii secundari ai lemnului. De importanţă deosebită sunt canalele rezinifere longitudinale, specifice speciilor răşinoase. În secţiune transversală, canalele rezinifere longitudinale apar sub formă de pete gălbui (culoarea răşinii lichide) la lemnul proaspăt doborât şi alb-gălbuie gălbui (culoarea răşinii uscate) la lemnul uscat.

De cele mai multe ori, canalele rezinifere longitudinale nu se asociază, având un diametru de 100-150 μm.

Mărimea şi distribuţia canalelor rezinifere longitudinale, precum şi absenţa sau prezenţa lor sunt specifice şi constituie criterii de identificare a diferitelor specii de lemn. De exemplu, molidul se deosebeşte uşor de brad deoarece numai prima specie conţine canale rezinifere longitudinale.

Petele medulare sunt observabile în secţiunea transversală a lemnului, având următoarele caracteristici:

-culoarea: diferită de cea a lemnului înconjurător;
-forma neregulată:
    -semicirculară;
    -de semilună;
    -poligonală, etc;
    -dimensiunea medie: 1-5 mm;
    -localizare: în apropierea razelor medulare.

Petele medulare sunt formate din celule de paremchim traumatic şi apar în urma atacului unor agenţi patogeni asupra cambiului.

Prezenţa petelor medulare are consecinţe negative aupra lemnului prin:

-scade valoarea estetică a furnirelor;
-diminuează rezistenţa mecanică.

Prezenţa petelor medulare sunt specifice şi constituie criterii de identificare a speciilor de paltin. De exemplu, paltinul de munte nu conţine pete medulare, spre deosebire de alte specii de paltin.

Zonele de fibră lemnoasă, întâlnite la speciile de foioase, apar în secţiunea transversală şi au următoarele caracteristici:

-culoarea: diferită de cea a lemnului înconjurător, de obicei cu nuanţă mai închisă;
-luciu mai mare în tăiere fină;
-forma în secţiune transversală: neregulată;
-localizare: în special în lemnul târziu al inelelor de creştere anuală.

Aceste zone au o rezistenţă şi o duritate superioară restului lemnului şi pot constitui criterii de identificare a unor specii de lemn.

Măduva lemnului este un țesut parenchimatic cu următoarele caracteristici:

-culoarea, de obicei, o nuanță mai închisă decât restul lemnului:

-brună - ciocolatie la nuc;

-alb - roşiatică la fag;

-albicioasă la tei;

-roşie - brună la brad şi molid;

-forma, diferită:

-circulară la nuc;

-triunghiulară la fag;

-pentagonală la tei,

-poligonală la brad şi molid.

Măduva este înconjurată de inele late de creştere anuală, formând împreună lemnul primar, cu proprietăți mecanice inferioare lemnului secundar, format ulterior.

Culoarea şi forma măduvii sunt specifice şi constituie criterii de identificare a diferitelor specii de lemn.

VIII.3.5. Caracteristicile speciale ale lemnului

Caracteristicile speciale ale lemnului sunt:

-fizice:
- -culoarea;
- -luciul;
- -desenul;
- -textura;

-olfato-gustative:
- -mirosul;
- -gustul.

Culoarea caracteristică a lemnului este dată de duramen (care este în cantitate mai mare şi mai rezistent mecanic) în tăiere proaspătă.

Culoarea lemnului este foarte variată, ca de exemplu:

-albă, ca la paltin, carpen, brad, molid, balsa;

-cenuşie, ca la nuc,

-brună, ca la stejar;

-roşie, ca la cireş, pin, antal;

-roşie închisă, ca la mahon;

-neagră, ca la abanos.

Culoarea lemnului, în special a lemnului alb, se schimbă după tăiere la contactul cu aerul.

Pentru ameliorarea valorii decorative, au fost puse la punct procedee de colorare artificială.

Luciul este dat, în special de razele lemnului şi poate fi:

-mătăsos, ca la paltin şi platan;

-argintiu, ca la mesteacăn;

-cu ape, ca la frasin.

Textura lemnului influenţează starea suprafeţei după prelucrare, fiind dată de mărimea, proporţia şi distribuţia elementelor anatomice. Astfel se poate distinge textură:

-fină, ca la tei, plop;

-grosieră, ca la stejar, salcâm.

Desenul lemnului este dat de :

-inelele de creştere anuală;

-de raze (medulare sau simple);

-de anumite defecte:
- -noduri,
- -fibra creaţă,
- -excrescenţe;
- -excentricitate.

La plane diferite de secţionare, desenul lemnului este diferit.

Mirosul lemnului este dat de substanţele volatile din compuşii secundari. Mirosul este mai puternic la lemnul proaspăt debitat şi se modifică sub acţiunea ciupercilor xilofage, devenind cel specific lemnului putred.

Gustul lemnului este substanţele din compuşii secundari, care sunt solubili în apă. În general, el este puţin acrişor la lemnul proaspăt debitat şi poate fi:

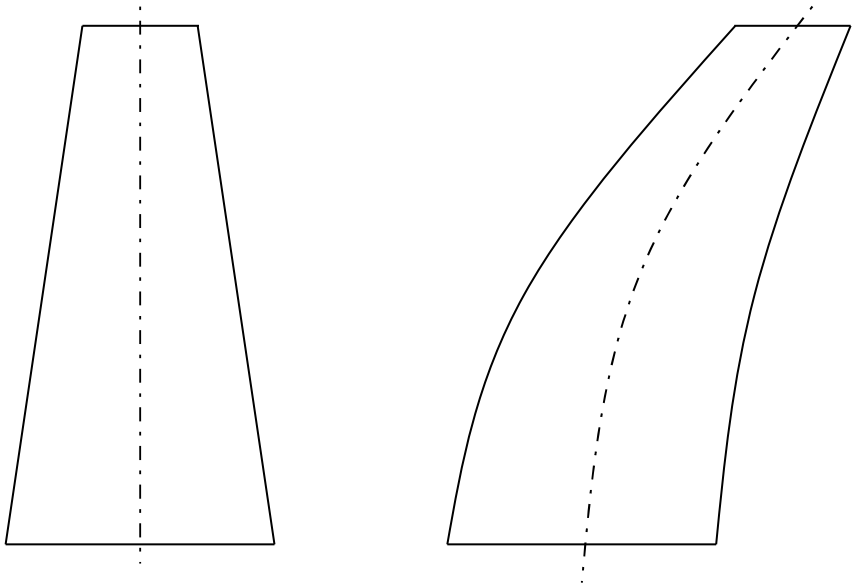
-uşor amărui, prin prezenţa taninului, ca la stejar;

-dulceag, prin prezenţa alcaloizilor, ca la paltin.

VIII.3.6. Defectele lemnului

Defectele lemnului sunt numeroase şi pot apare în timpul:
-dezvoltării;
-recoltării;
-depozitării;
-prelucrării.
Defectele duc la o scădere a valorii de întrebuinţare a lemnului.
O posibilă clasificare a defectelor lemnului este următoarele:
-defecte de formă:
    -curbura;
    -conicitatea anormală;
    -ovalitatea anormală;
    -canelura;
    -excrescenţa;
    -gâtuirea;
-defecte de structură:
    -neregularitatea inelelor de creştere anuală;
    -fibra deviată;
    -excentricitatea;
    -lunura;
    -inimile concrescute,
-nodurile:
    -concrescute;
    -căzătoare;
    -ascunse;
-crăpăturile:
    -gelivrura;
    -cadranura;
-găurile şi galeriile de insectele xilofage:
    -superficiale;
    -adânci;
    -străpungătoare;
-defecte provocate de ciupercile xilofage:
    -răscoacerea;
    -putregaiul:
        -brun;
        -alb;
-defecte de culoare:
    -duramenul fals;
    -albăstreala;
    -încinderea.
Curbura este devierea axei fiziologice a lemnului. Ea se poate clasifica astfel:
-după numărul de plane:
    -curbură într-un singur plan (Fig. 125.a);
    -curbură în mai multe plane (Fig. 125.b;

-după întindere:
-pe o anumită porțiune;
-pe toată lungimea.



a b

Fig.125
Curbura lemnului:
a-lemn fără curbură; b-curbură într-un plan.

Curbura lemnului poate apare datorită:
-solicitărilor asimetrice ale:
-coroanei;
-agenților de climă:
-vânt,
-zăpadă;
-versanților abrubți.

Conicitatea anormală este conicitatea ce depăşeşte 1 %. Conicitatea (c) se calculează cu formula următoare:

$$c = \frac{Øi - Øs}{L} 100 \qquad (82)$$

în care: Øs este diametrul lemnului la capătul superior;
Øi – diametrul lemnului la capătul inferior;
L - lungimea lemnului.

Ovalitatea anormală este ovalitatea care depăşeşte 1 %. Ovalitatea (o) se calculează cu formula următoare:

$$o = \frac{Ømax - Ømin}{Ømax} \cdot 100 \qquad (83)$$

în care: Ømax este diametrul maxim al lemnului;
Ømin – diametrul minim al lemnului.

Canelura (Fig. 126) constă în ridicături şi adâncituri ale suprafeţei exterioare a lemnului. Canelura (cl) se calculează cu formula următoare:

$$cl = \frac{Hmax}{Ømed} \cdot 100 \qquad (84)$$

în care: Hmax este înălţimea maximă a adânciturii;
Ømed – diametrul mediu al lemnului.

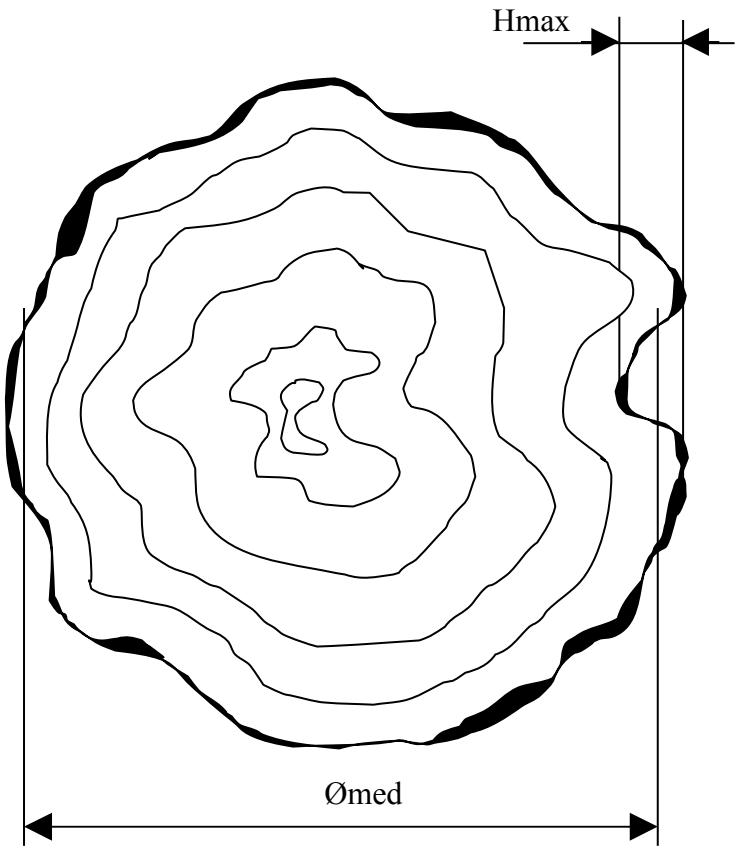


Fig.126
Canelura lemnului

Excrescența este o umflătură față de circumferința lemnului de diverse mărimi şi forme.

Gâtuirea (Fig. 127) este o scădere a circumferinței lemnului însoțită de umflarea marginilor.

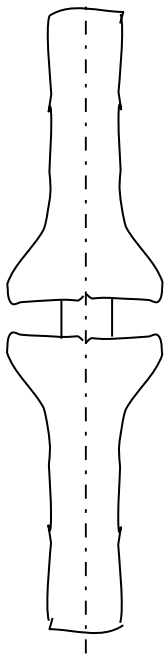


Fig. 127
Ştrangularea

Neregularitatea lățimii inelelor anuale se datoreşte condițiilor de vegetație diferite, care poate duce la crăpături inelare.

Fibra deviată este orice fibră (fibra lemnoasă şi traheele la foioase şi traheidele axiale la răşinoase) care se abate de la paralelismul cu axa fiziologică şi poate fi:

-fibra ondulată;
-fibra înclinată;
-fibra răsucită;
-fibra împletită.

Excentricitatea lemnului (Fig.128) este devierea vizibilă pe secțiunea transversală a centrului anatomic față de centrul geometric. Excentricitatea lemnului (e) poate fi calculată astfel:

$$e = \frac{x}{Ø_{max}} 100 \qquad (85)$$

în care: Ømax este diametrul maxim al lemnului;
x-distanța dintre centrul anatomic şi centrul geometric.

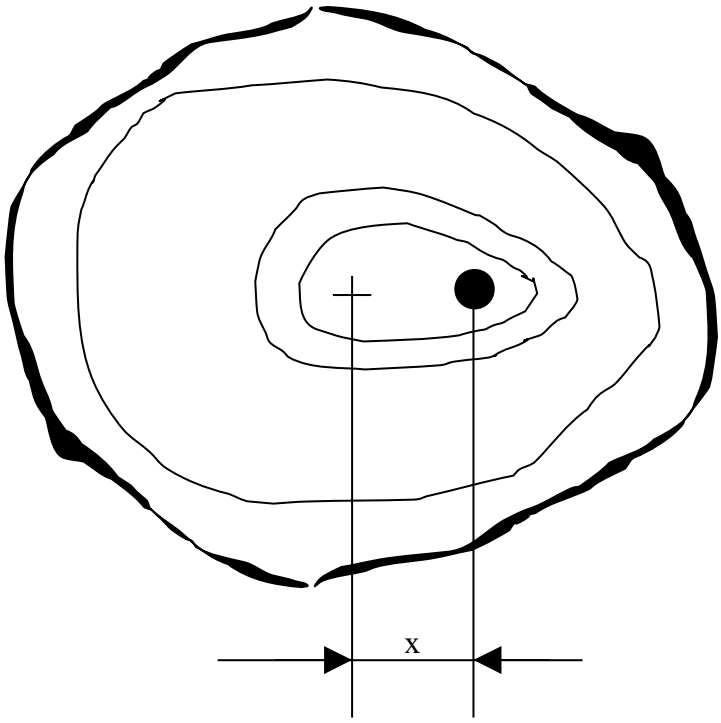


Fig.128
Excentricitatea lemnului:
x-distanța dintre centrul anatomic şi centrul geometric.

Lunura lemnului constă în prezența unor inele de alburn în duramen (Fig.129).

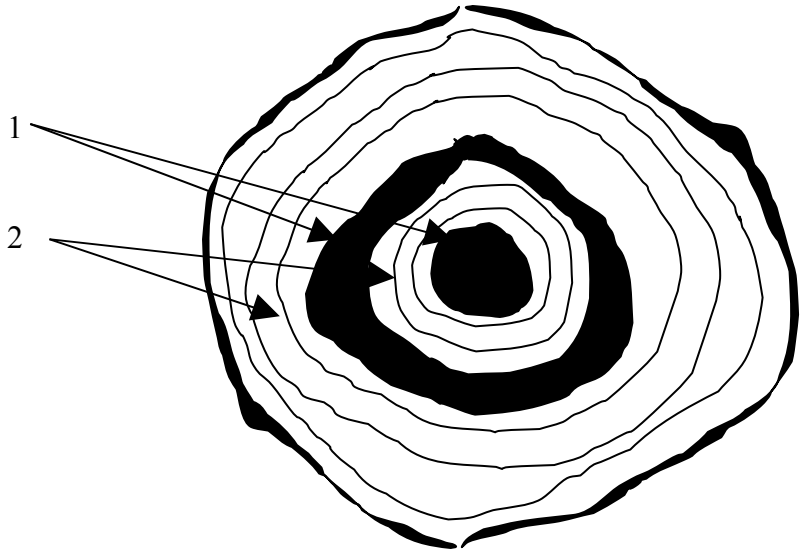


Fig.129
Lunura lemnului:
1-duramen, 2-alburn.

Inimile concrescute ale lemnului (Fig.130) sunt caracterizate prin prezența în secțiunea transversală a două sau mai multe axe fiziologice, fiecare având inelele proprii de creştere anuală, în jurul cărora sunt şi inele comune de creştere anuală. În zona de contact a inimilor rămân porțiuni de coajă, în care se pot dezvolta ciuperci xilofage.

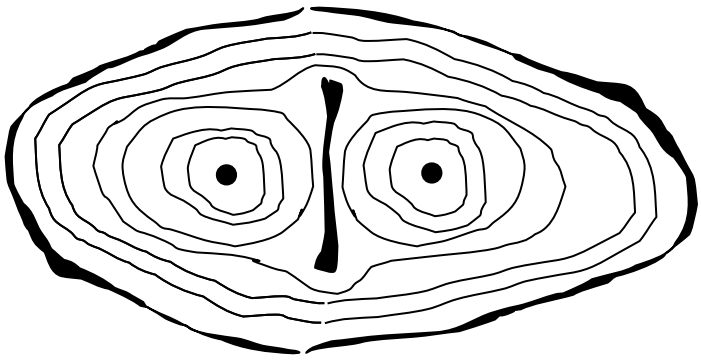


Fig.130
Inimi concrescute ale lemnului

Nodurile sunt părți ale crengilor înglobate în trunchi şi reprezintă defecte inevitabile ale lemnului. Când inelele de creştere anuală ale crengii sunt în continuarea celor ale trunchiului, atunci nodul este concrescut. În cazul uscării crengii, nodul este căzător, iar după căderea crengii, nodul poate deveni ascuns la o creştere suficientă în grosime a crengii.

Gelivrura (Fig.131) este crăpătura de ger a lemnului pe o anumită lungime a trunchiului într-un plan radial.

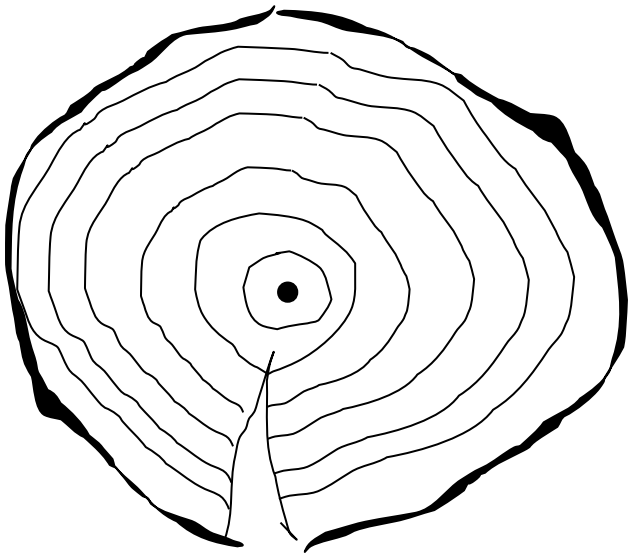


Fig.131
Gelivrura

Cadranura (Fig.132) constă în crăpături radiale care pornesc din măduva trunchiului şi nu ajung la exterior.

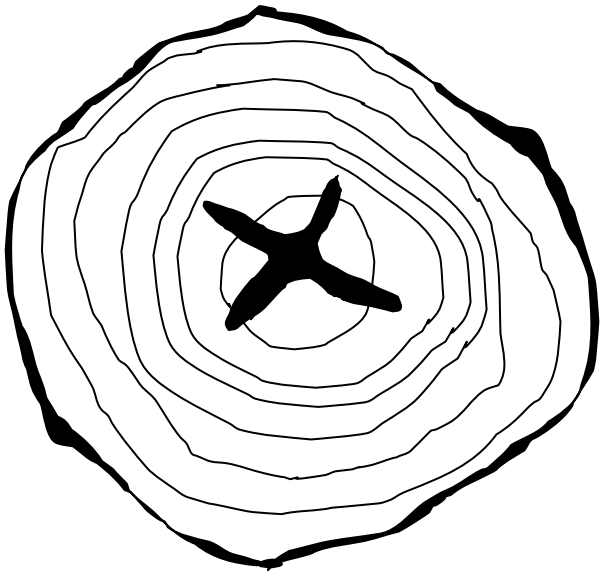


Fig.132
Cadranura

Găurile şi galeriile de insecte se datoresc insectelor xilofage, dintre care cele mai importante sunt:

-gândacii (ordinul coleoptera):
  -cariile lemnului;
  -croitorii lemnului;
-viespile şi furnicile (ordinul hymenoptera);
-termitele (ordinul isoptera).

Defectele provocate de ciupercile xilofage sunt, în ordinea stadiului de degradare a lemnului, următoarele:

-încinderea;
-răscoacerea;
-putregaiul.

Aceste de fecte apar la lemnul doborât, care a rămas o mare perioadă de timp în pădure.

Încindrea se manifestă printr-o colorare anormală de la gălbui-roşiatică la brun-cenuşie, fără afectarea proprietăţilor mecanice ale lemnului. Din acest motiv, încinderea este trecută în grupa defectelor de culoare ale lemnului. Acest defect apare la unele specii de foioase (fag, tei, plop, mesteacăn etc.).

Răscoacerea se manifestă prin apariţia unor pete albicioase pe un fond brun -roşcat, cu aspect de marmură, însoţită de alterarea proprietăţilor mecanice ale lemnului. Acest defect apare la unele specii de foioase (fag, tei, plop, mesteacăn, etc.).

Putregaiul este un defect la care alterarea proprietăților mecanice ale lemnului este avansată.

Putregaiul alb este specific foioaselor, iar putregaiul brun se întâlneşte la răşinoase.

Defectele de culoare sunt abateri de la culoarea normală şi nu sunt însoțite de alterări sesizabile ale proprietăților mecanice ale lemnului.

Duramenul fals este o colorare anormală a zonei centrale a trunchiului, ca de exemplu:

-inima roşie a fagului;
-inima stelată a fagului;
-inima roşcată a stejarului;
-inima cenuşie a teiului;
-inima negricioasă a paltinului.

Albăstreala lemnului este o colorare a alburnului unor specii.

-de foioase:
    -fagul;
    -teiul,
    -paltinul;
-de răşinoase:
    -pin;
    -molid.

CAPITOLUL IX
MASELE PLASTICE

IX.1. Introducere

Masele plastice prezintă numeroase avantaje comparativ cu materialele metalice datorită costurilor scăzute de fabricaţie, a proprietăţilor (densitate mică, conductivitate termică redusă, bună rezistenţă la coroziune etc.), a uşurinţei de prelucrare, care suplinesc cu prisosinţă, de cele mai multe ori, valoarea mică a modulului de elasticitate şi refractaritatea scăzută.

Identificarea generică şi marcarea produselor din materiale plastice sunt stabilite de SR ISO 11469:1998.

Marcarea produselor monocomponente constă din simbolul sau abrevierea corespunzătoare, plasate între semnele “>” şi “<”.

În general, simbolurile homopolimerilor se formează din litera P urmată de simbolul monomerului constitutiv, exceptând produsele de condensare de tip răşină formaldehidică, răşina poliepoxidică şi poliester nesaturat.

De exemplu, pentru polietilenă se utilizează > PE <, iar pentru poliesterul nesaturat se utilizează > UP <.

Pentru materialele plastice obţinute prin modificarea chimică a celulozei, litera P este înlocuită cu prin simbolul polimerului natural de bază, C.

De exemplu, pentru etilceluloză se utilizează > EC<.

Pentru copolimeri se utilizează simbolurile monomerilor componenţi, în ordinea lor de apariţie în denumirea termenului, separate prin bară oblică.

De exemplu, pentru acrilonitril / butadien / stiren se utilizează > ABS <.

Marcarea amestecurilor de polimeri constă din simbolul sau abrevierea corespunzătoare fiecărui polimer, separate unul de altul prin semnul plus şi încadrate de semnele “>” şi “<”.

De exemplu, pentru amestecul acrilonitril / butadien / stiren > ABS < şi policarbonat > PC < se utilizează marcarea > ABS + PC <.

Marcarea compoziţiilor care conţin un singur material de şarjare sau armare constă din simbolul sau abrevierea corespunzătoare polimerului de bază, urmat de o cratimă, apoi de simbolul sau abrevierea corespunzătoare materialului de şarjare sau armare cu procentul său de masă, totul fiind încadrat de semnele “>” şi “<”.

De exemplu, pentru compoziţia care conţine răşină poliepoxidică şi 25 % pulbere minerală se utilizează marcarea > EP - MD25 <.

Marcarea compoziţiilor care conţin un amestec de materiale de şarjare sau armare constă din simbolul sau abrevierea corespunzătoare polimerului de bază, urmat de o cratimă, apoi de o paranteză care cuprinde simbolurile sau abrevierile corespunzătoare materialelor de şarjare sau armare cu procentele lor de masă, totul fiind încadrat de semnele “>” şi “<”.

De exemplu, pentru compoziția care conține poliamida hexametilendiaminei cu acid adipic, 25 % fibră de sticlă şi 10 % pulbere minerală se utilizază marcarea > PA66 - (GF25 + MD10) <.

Simbolurile polimerilor pot fi completate cu abrevierile unor caracteristici speciale (Tabelul 22). Abrevierile nu depăşesc patru litere şi se adaugă după simbolul polimerului, despărțit de acesta printr-o liniuță.

Tabelul 22

Abrevierea	Semnificația
D	densitate
H	înalt
L	jos
I	impact
U	ultra
V	foarte
W	masă

De exemplu, pentru polietilenă de joasă densitate se utilizează > PE-LD <, iar pentru policlorura de vinil cu rezistență înaltă la şoc se utilizează > PVC-HI <

În marea lor diversitate, masele plastice pot fi clasificate după mai multe criterii:

-după structură:
- -polimeri liniari:
  - -homopolimeri;
  - -copolimeri;
- -macromolecule ramificate:
  - -homopolimeri;
  - -copolimeri;
  - -polimeri cu cicluri în lanț;
- -polimeri tridimensionali:
  - -sintetizați direct din molecule mici;
  - -sintetizați din polimeri liniari;

-după reacția de polimerizare:
- -polimeri de adiție;
- -polimeri de policondensare;

-după principiul obținerii formei:
- -materiale termoplastice:
  - -poliolefinele:
    - -polietilena > PE <;
    - -polipropilena > PP <;
    - -poliizobutilena > PIB <;
    - -polimetilpentena > PMP <;
  - -policlorurile de vinil > PVC < şi derivații / copolimerii lor:
    - -policlorura de vinil supraclorurată > PVCC <;
    - -policlorura de vinilidin > PVDD <;
    - -copolimerul clorură de vinil / propilenă > VC / P <;
    - -stirenicii:
  - -polistirenul > PS < şi copolimerii săi:

-stiren / butadienă sau polistirenul şoc > SB <;
-stiren / acrilonitril > SAN <;
-acrilonitril / butadien / stirenul > ABS <;

-poliacrilicii:
-polimetilacrilatul de metil > PMMA <;
-poliacrilonitrilul > PAN <;
-copolimerul acrilonitril / metacrilat de metil > A / MMA <;

-polimerii fluoraţi:
-politetrafluoretilena > PTFE <;
-policlorotrifluoretilena > PCTFE <;
-polifluorura de vinilidin > PVDF <;
-copolimerul etilenă / politetrafluoretilena > ETFE <;

-polioximetilenele > POM <;

-poliamidele:
-polimerul ε - caprolactamei > PA 6<;
-polimerul hexametilendiaminei cu acid adipic > PA 66<;
-polimerul hexametilendiaminei cu acid sebacic > PA 610<;
-polimerul acidului amino-11 undecanoic > PA 11<;
-polimerul dodecanolactamei-1,12 > PA 12<;
-copolimerul dintre polimerul hexametilendiaminei cu acid adipic şi cu polimerul hexametilendiaminei cu acid sebacic > PA 66 / 610<;
- copolimerul dintre polimerul ε – caprolactamei şi cu polimerul dodecanolactamei-1,12 > PA 6 / 12 <;

-poliesterii saturaţi:
-politereftalat de etil > PETP <;
-polibutilen tereftalat > PBTP <;

-policarbonaţii > PC <;

-polimerii sulfonici:
-polisulfonă >PSU <;
-polietersulfonă > PESU <;
-polifenilensulfonă > PPSU <;

-polisulfura de fenilen > PPS <;

-polifenilen oxidul > PPO <,

-polimerii celulozici:
-nitraţii de celuloză > CN <;
-acetaţii de celuloză > CA <;
-propionaţii de celuloză > CP <;

-materiale termorigide:
-răşinile poliepoxidice > EP <;
-poliimidele > PI <;
-siliconii > SI <;
-aminoplastele:
-răşinile ureo-formaldehidică > UF <;
-răşinile melamino-formaldehidică > MF <;
-poliesterii nesaturaţi > UP <;
-fenoplastele > PF <:
- rezol, rezitol şi rezită sau
răşină " one step " > PF1 <;
-novolac sau răşină " two steps "> PF2 < ;
-poliuretanii > PUR <:
-termorigizi;
-termoplastici.

Masele plastice termoplastice sunt formate din macromolecule liniare, care pot deveni mobile între ele la ridicarea temperaturii.

Înainte de a fi prelucrate masele plastice termoplastice se pot prezenta astfel:

-pudră sau granule;

-semifabricate: plăci, folii, filme;

-pudră sau pastă amestecată cu un corp străin (materiale de armare etc.).

Etapele principale ale obţinerii formei din mase plastice termoplastice sunt următoarele:

-ridicarea temperaturii prin aport extern (încălzire) sau intern (frecare) până ce se ajunge din stare solidă în stare plastică sau topită;

-realizarea formei cu ajutorul unei matriţe sau unei filiere;

-răcirea pentru menţinerea formei obţinute.

Obiectul obţinut poate fi reciclat (măcinat) sau termoformat (din plăci, folii, etc.).

Masele plastice termorigide sunt formate din macromolecule tridimensionale, care nu permit decât mişcări limitate . Această structură poate fi:

-rigidă;

-suplă (elastomeri de silicon sau poliuretan).

Înainte de a fi prelucrate, masele plastice termorigide se pot prezenta astfel:

-un lichid;

-lichide amestecate între ele;

-pudră sau granule gata preparate.

Reacţia de reticulare are loc între prepolimer şi întăritor în prezenţa unui catalizatator si a unui accelerator.

Începutul reacţiei este declanşat de amestecare sau de aport de căldură.

Etapele principale ale obţinerii formei din mase plastice termorigide sunt următoarele:

-obţinerea formei, care este realizată înainte sau în timpul începutului reacţiei de reticulare;

-scoaterea din formă a obiectului atunci când reticularea este completă (90-100 %).

Obiectul obţinut din masele plastice termorigide nu poate fi reciclat.

IX.2. Reacțiile de polimerizare

Reacțiile de polimerizare pot fi:

-de adiție;

-de policondensare.

Un exemplu de reacție de polimerizare prin adiție este în cazul polietilenei. Monomerul este etilena, un gaz cu formula C_2H_4, la care atomii de carbon sunt legați prin legătură covalentă dublă (Fig.133).

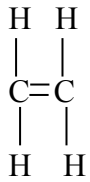


Fig.133
Formula structurală de perspectivă la monomerul de etilenă

În anumite condiții (căldură, presiune sau catalizator), dubla legătură dintre cei doi atomi de carbon a etilenei se rupe, astfel că fiecare atom de carbon capătă câte o legătură liberă, obținându-se un mer (Fig.134).

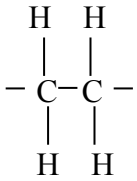


Fig.134
Formula structurală de perspectivă la merul de etilenă

Legăturile libere ale atomilor de carbon din merul de etilenă pot fi satisfăcute prin adiția sucesivă a altor meri de etilenă, obținându-se polimerul numit polietilenă (Fig.135).

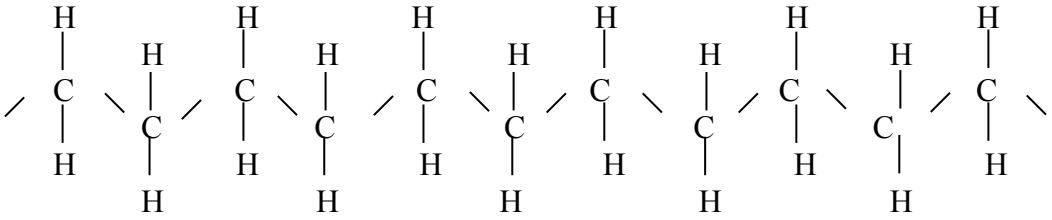
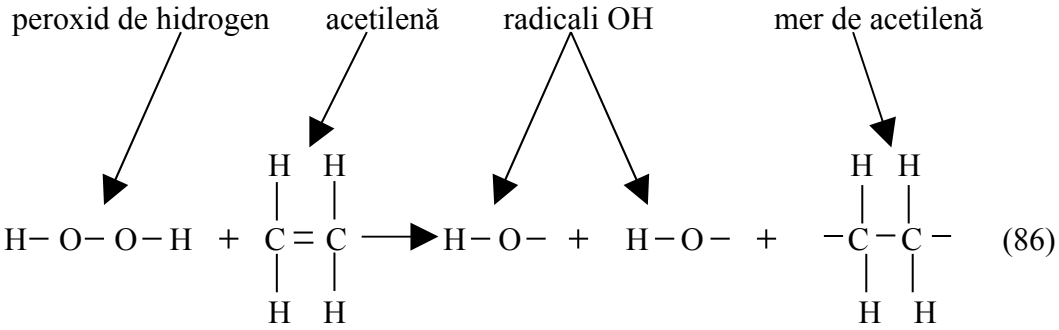


Fig.135
Formula structurală de perspectivă la polietilenă

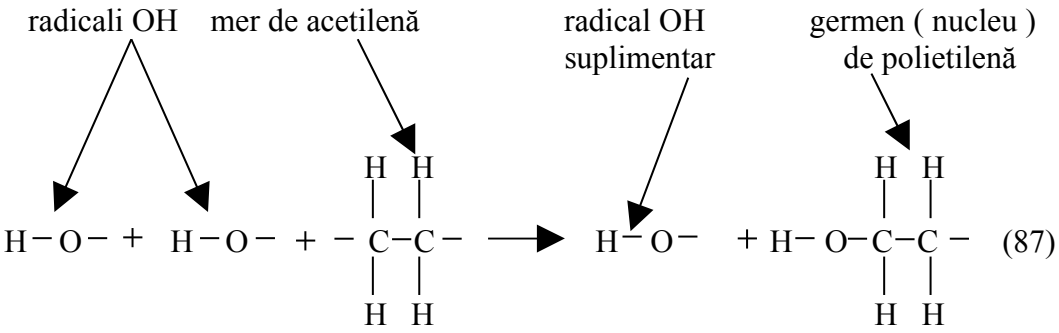
Reacția de polimerizare a etilenei poate fi inițiată de un catalizator, numit peroxidul de hidrogen (H_2O_2). În acest caz, reacția de polimerizare are loc în următoarele etape:

-formarea radicalilor OH din peroxidul de hidrogen şi a merilor de acetilenă:



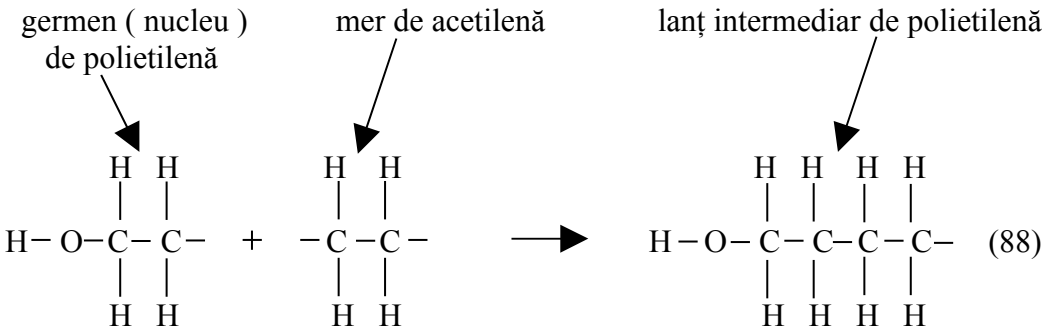
(86)

-inițierea lanțului de polietilenă:



(87)

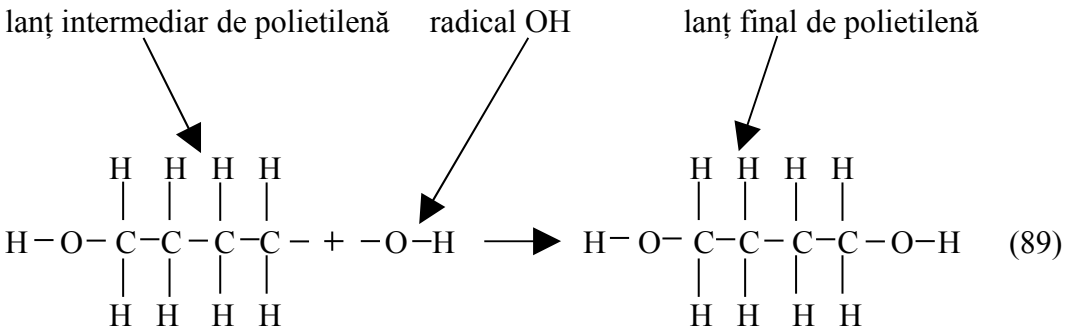
-creşterea lanțului de polietilenă:



(88)

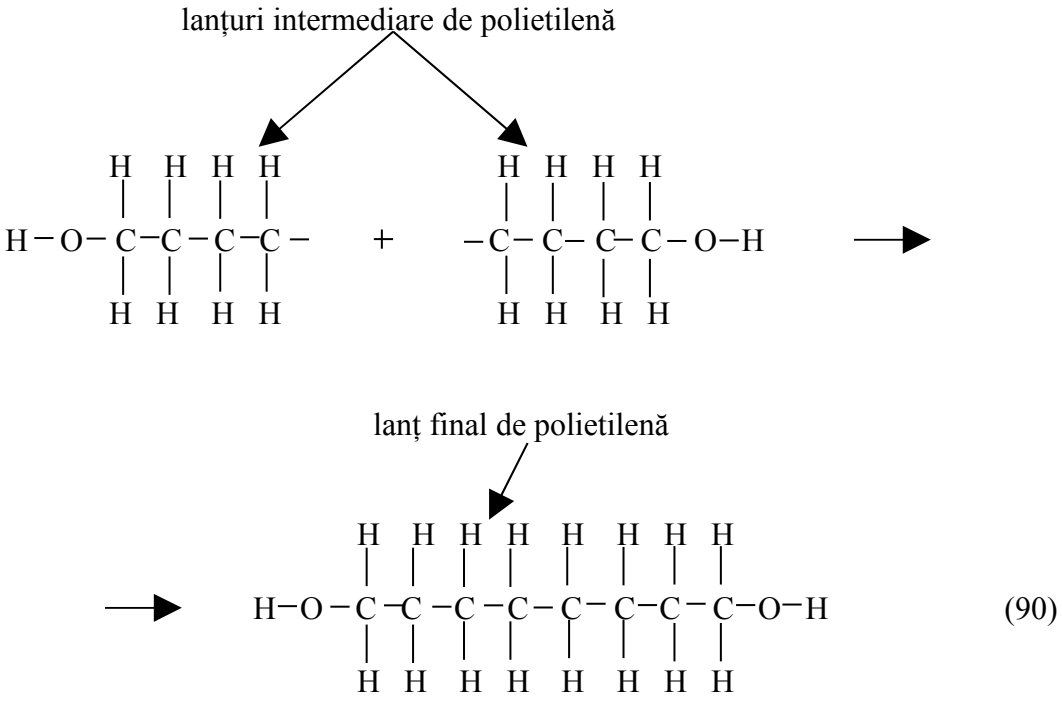
-terminarea lanțului de polietilenă prin:

-adiția unui radical OH:



(89)

-combinarea a două lanțuri intermediare:



(90)

Creşterea lanțului de polietilenă este spontană deoarece la combinarea a două legături covalente simple dintre doi atomi de carbon se degajă 176 (2 x 88) kcal / mol , în timp ce ruperea legăturii duble între cei doi atomi de carbon ai etilenei necesită 172 kcal / mol (Tabelul 23).

Tabelul 23

Tipul de legătură	Energia de legătură kcal / mol
C — C	88
C = C	172
C — N	73
C — O	86
N — H	110
O — H	119

Curba cineticii polimerizării prin adiție (Fig.135) arată că amorsarea reacției este lentă, după care, datorită creşterii temperaturii, reacția este accelerată, iar spre final, viteza de polimerizare este mică.

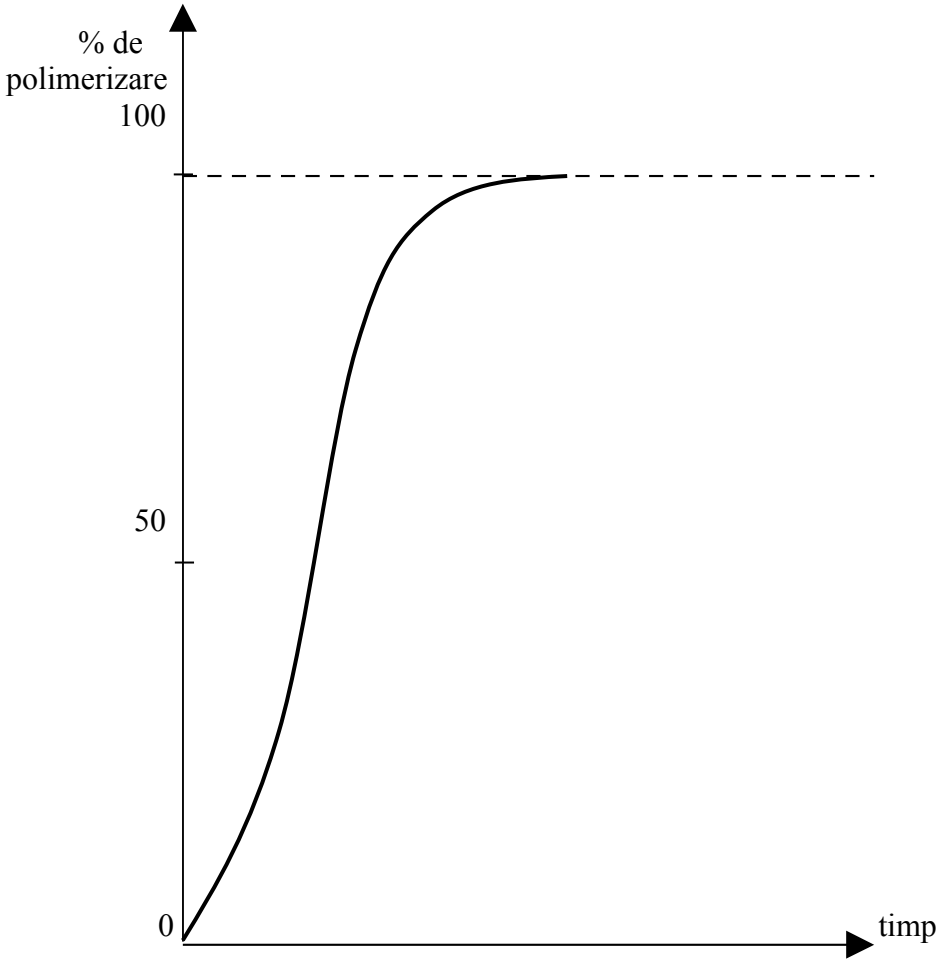


Fig.135
Curba cinetică a polimerizării prin adiție

Merul acetilenei are numai două poziții unde se pot ataşa noi molecule, caz în care se spune că funcționaliatea acetilenei este egală cu doi, sau că are două funcții active.

În timpul creşterii, lanțul de polietilenă poate urma o anumită direcție sau se poate roti datorită structurii tetragonale a carbonului (Fig.136).

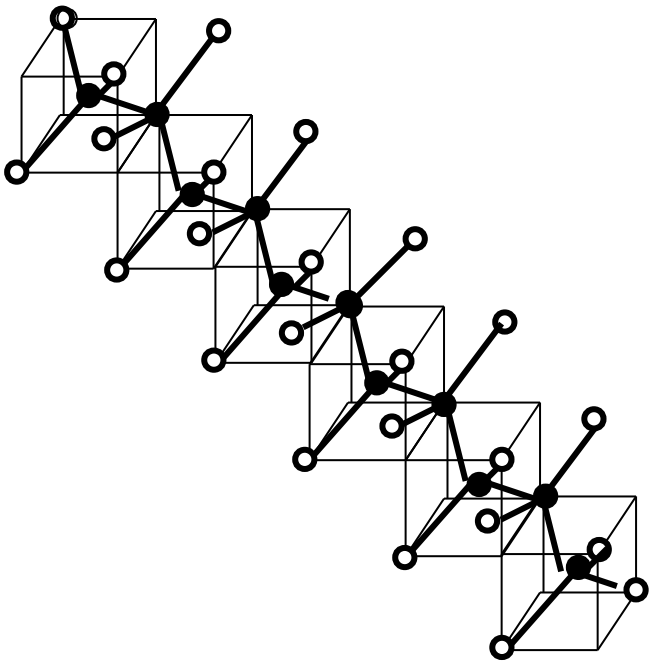
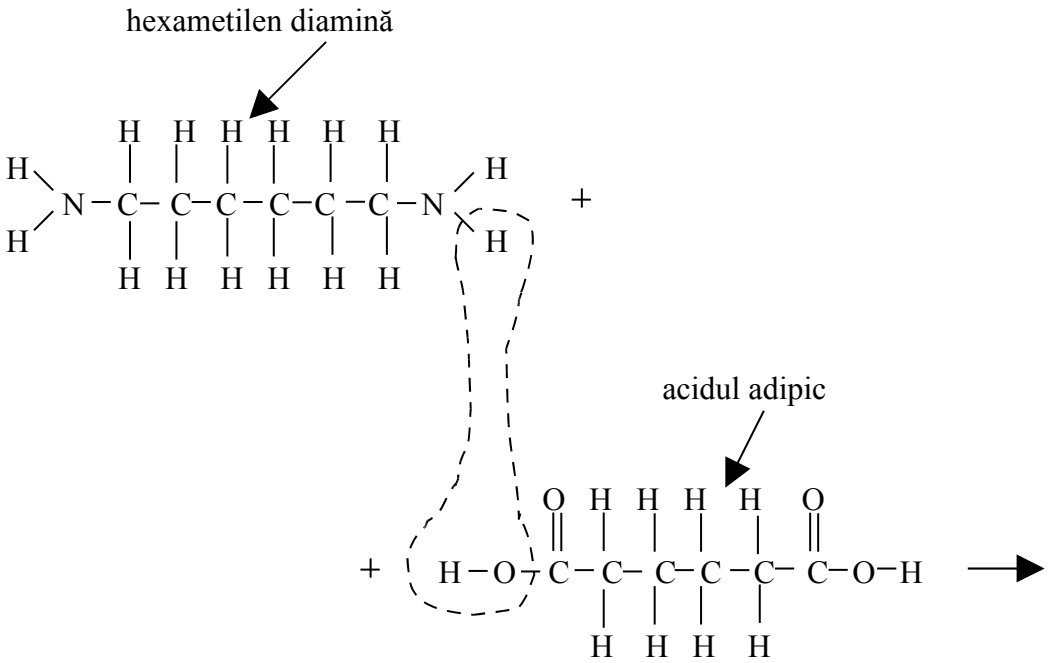
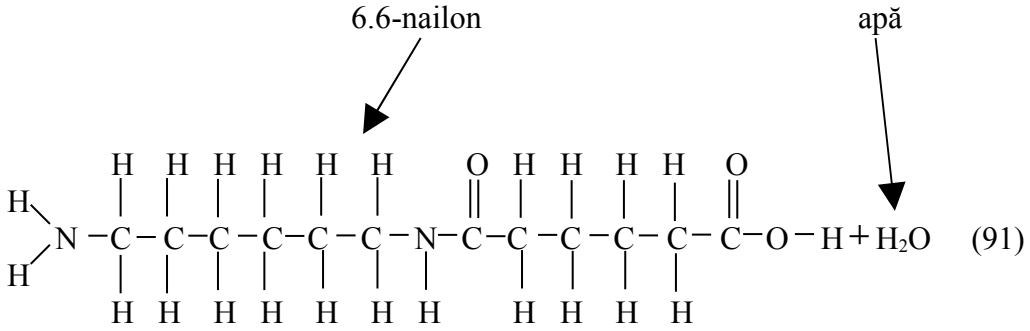


Fig. 136
Lanț de polietilenă

În anumite condiții (căldură, presiune sau catalizator), are loc reacția de polimerizare prin condensare.

Un exemplu de reacție de polimerizare prin condensare este în cazul >PA66< (nailon). Această reacție are loc între hexametilen diamină şi acidul adipic, în urma căreia rezultă >PA66< (nailon), ca produs principal şi apă, ca produs secundar. Reacția se poate produce la ambele capete ale polimerului, motiv pentru care se obțin lungimi mari.





(91)

Reacția de polimerizare prin condensare dintre hexametilen diamină şi acidul adipic nu se produce spontan deoarece energie consumată la ruperea legăturilor covalente este mai mare decât energia degajată la formarea legăturilor covalente:

energie consumată la ruperea legăturilor covalente =
$= E_{N-H} + E_{O-C} = 110 + 86 = 196$ kcal / mol (92)

energie degajată la formarea legăturilor covalente =
$= E_{C-N} + E_{O-H} = 73 + 119 = 192$ kcal / mol (93)

IX.3. Structura polimerilor

IX.3.1. Tipuri de macromolecule

Masele plastice sunt polimeri formați din molecule organice gigantice (macromolecule), cu masa molară de 10000 până la 1000000.

După structură polimerii pot fi:

- -polimeri liniari:
  - -homopolimeri;
  - -copolimeri;
- -macromolecule ramificate.
  - -homopolimeri;
  - -copolimeri;
  - -polimeri cu cicluri în lanț;
- -polimeri tridimensionali:
  - -sintetizați direct din molecule mici;
  - -sintetizați din polimeri liniari;

Homopolimerii liniari pot fi considerați ca o înlănțuire liniară de motive structurale identice. Motivul structural este format dintr-un monomer, notat cu A, caz în care homopolimerii sunt notați cu $(A)_n$ şi au formula:

-A-A-A-A-A-

Copolimerii liniari sunt înlănțuiri liniare de două sau mai multe motive structurale, notate A,B,C, etc, cu o mare varietate de structuri. Astfel, copolimerii pot fi:

-copolimeri alternanți:

-A-B-A-B-A-B- ;

-copolimeri secvențiali:

-A-A-A-A-B-B- ;

-copolimeri statistici:

-A-B-B-B-A-B-A-A-A-B-.

Un exemolu de copolimer liniar format din înlănțuirea a trei monomeri este acrilonitril / butadien / stirenul > ABS <;

Homopolimerii ramificați conțin ramificări, care pot fi:

-scurte (Fig.137), formate, de cele mai multe ori, dintr-un singur atom sau, în general, din mai puțin de șase atomi;

-lungi (Fig.138), având lungimea de ordinul de mărime al lanțului principal;

-mixte, ca în cazul polietilenei de joasă densitate (Fig.139).

Fig.137
Homopolimer cu ramificări scurte

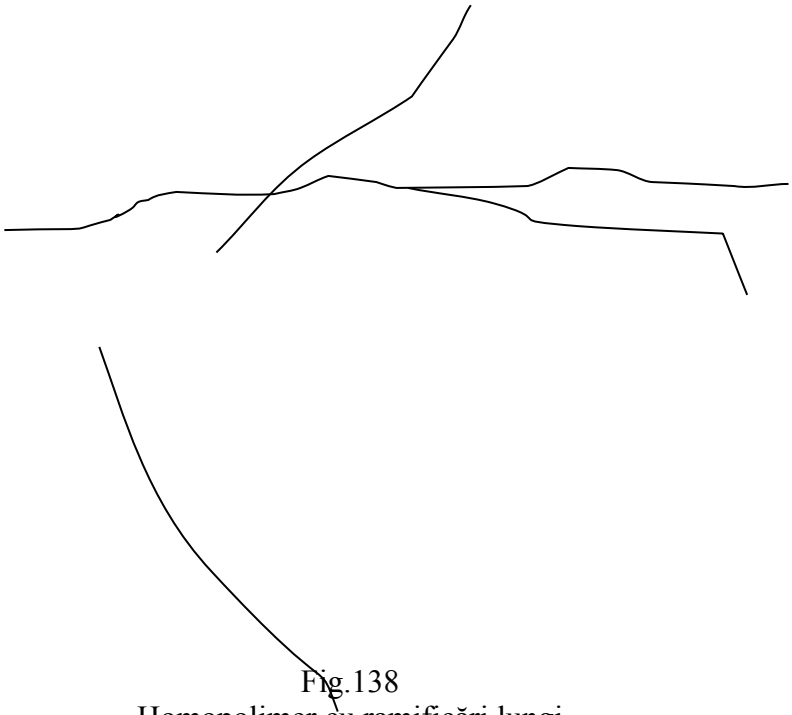


Fig.138
Homopolimer cu ramificări lungi

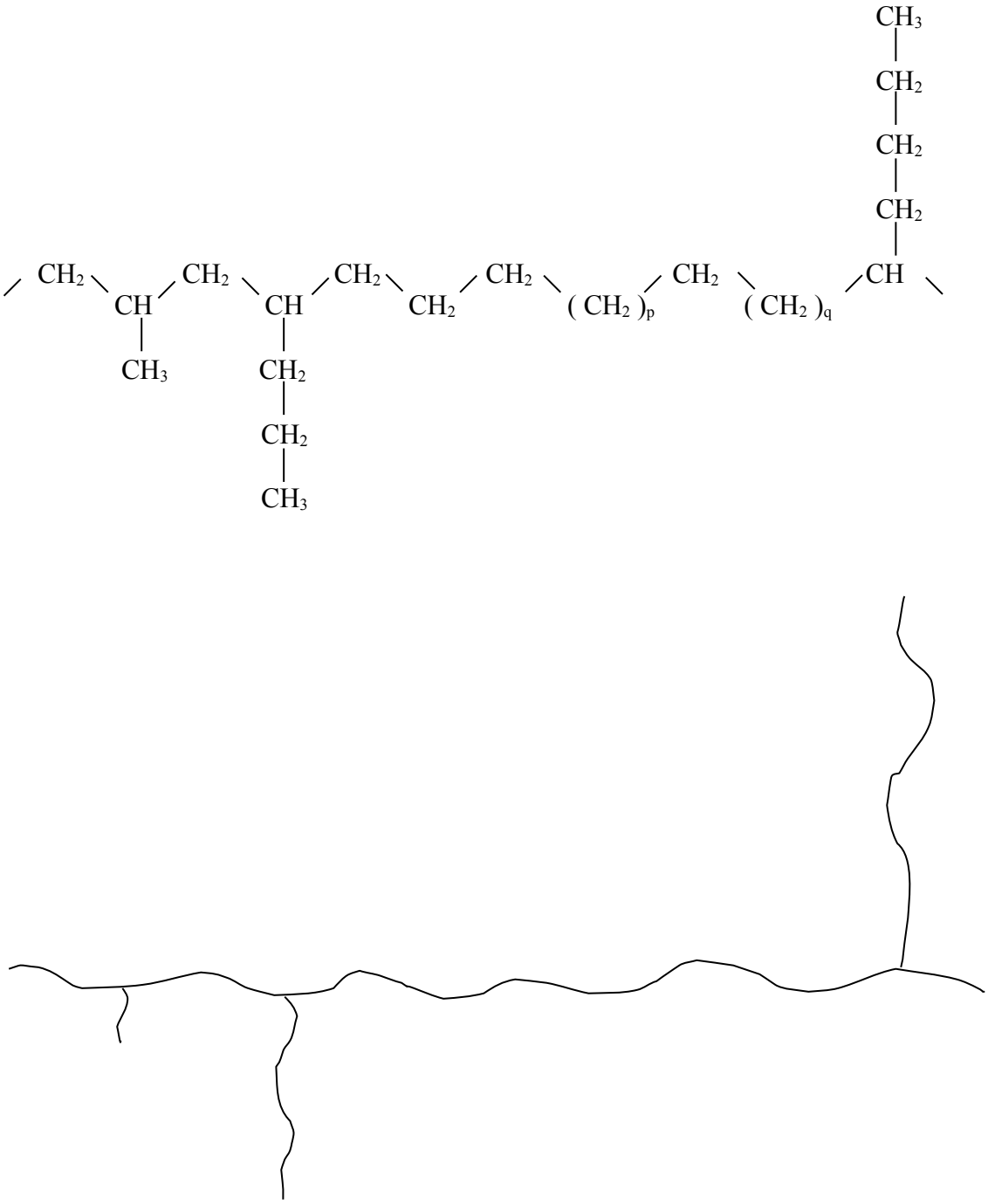


Fig.139
Homopolimer cu ramificări mixte (polietilenă de joasă densitate)

Copolimerii ramificaţi sunt formaţi dintr-un trunchi la care sunt grefaţi:

-homopolimeri diferiţi, ca la polietilenă-poliacid acrilic (Fig. 140);

-copolimeri.

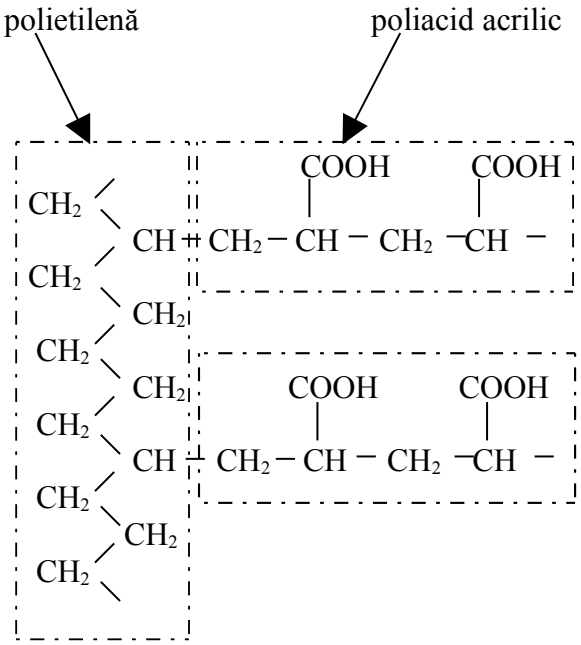


Fig.140

Formula structurală de perspectivă la polietilenă-poliacid acrilic

Polimerii cu cicluri înlănţuite sunt constituiţi din cicluri suprapuse sub formă de scară, care conferă masei plastice o rigiditate ridicată şi proprietăţi mecanice superioare. Dacă apar dificultăţi în timpul formării datorită rigidităţii excesive, atunci se introduc aşa-numitele "balamale", care permit o oarecare mobilitate (Fig. 141).

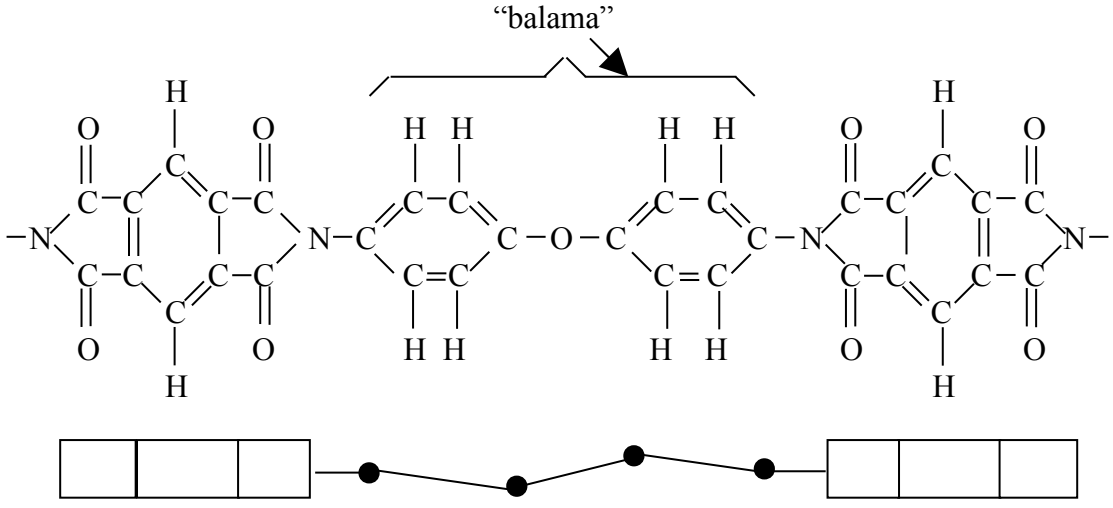


Fig.141

Formula structurală de perspectivă a unităţii de bază la poliimidă > PI <

La polimerii tridimensionali sintetizaţi direct din molecule mici, funcţionalitatea moleculelor trebuie să fie mai mare decât doi (să aibă mai mult de două funcţii active), ca în cazul dialil ftalatului (Fig.142).

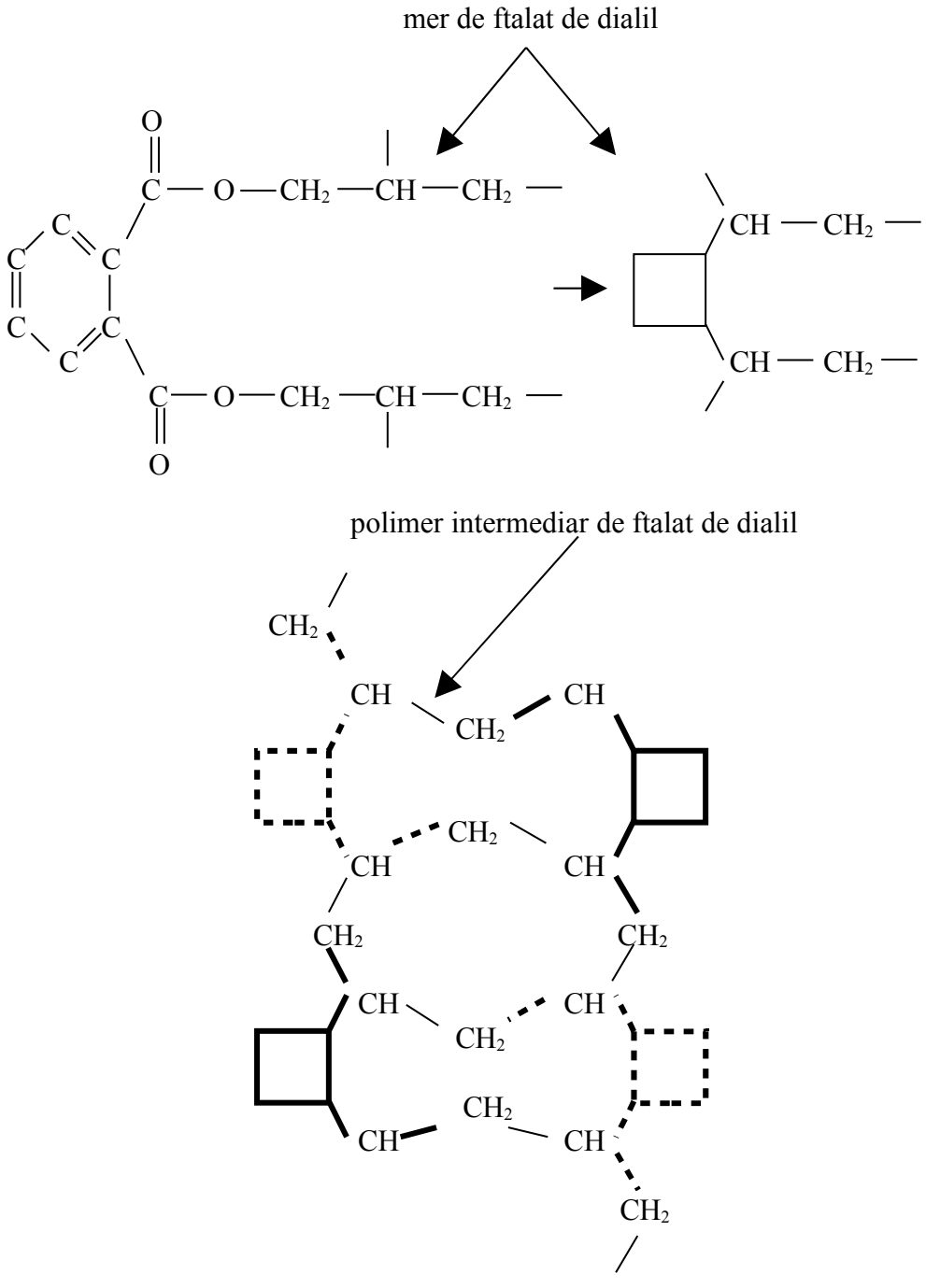


Fig.142
Polimer tridimensional sintetizat din molecule mici de ftalat de dialil (DAP)

În cazul policondensării unui monomer bifuncţional şi a unuia trifuncţional, lungimea monomerului bifuncţional influenţează puternic proprietăţile termomecanice ale polimerului respectiv.

Alcătuirea polimerilor tridimensionali sintetizați din polimeri liniari este următoarea:

-polimerul de bază, numit şi prepolimer, care conține funcții reactive laterale lanțului (Fig.143), ca în cazul poliesterilor nesaturați > UP < sau la capătul lanțului (Fig. 144), ca în cazul poliepoxizilor > EP <;

-întăritorul, un agent polifuncțional, care realizează reticularea.

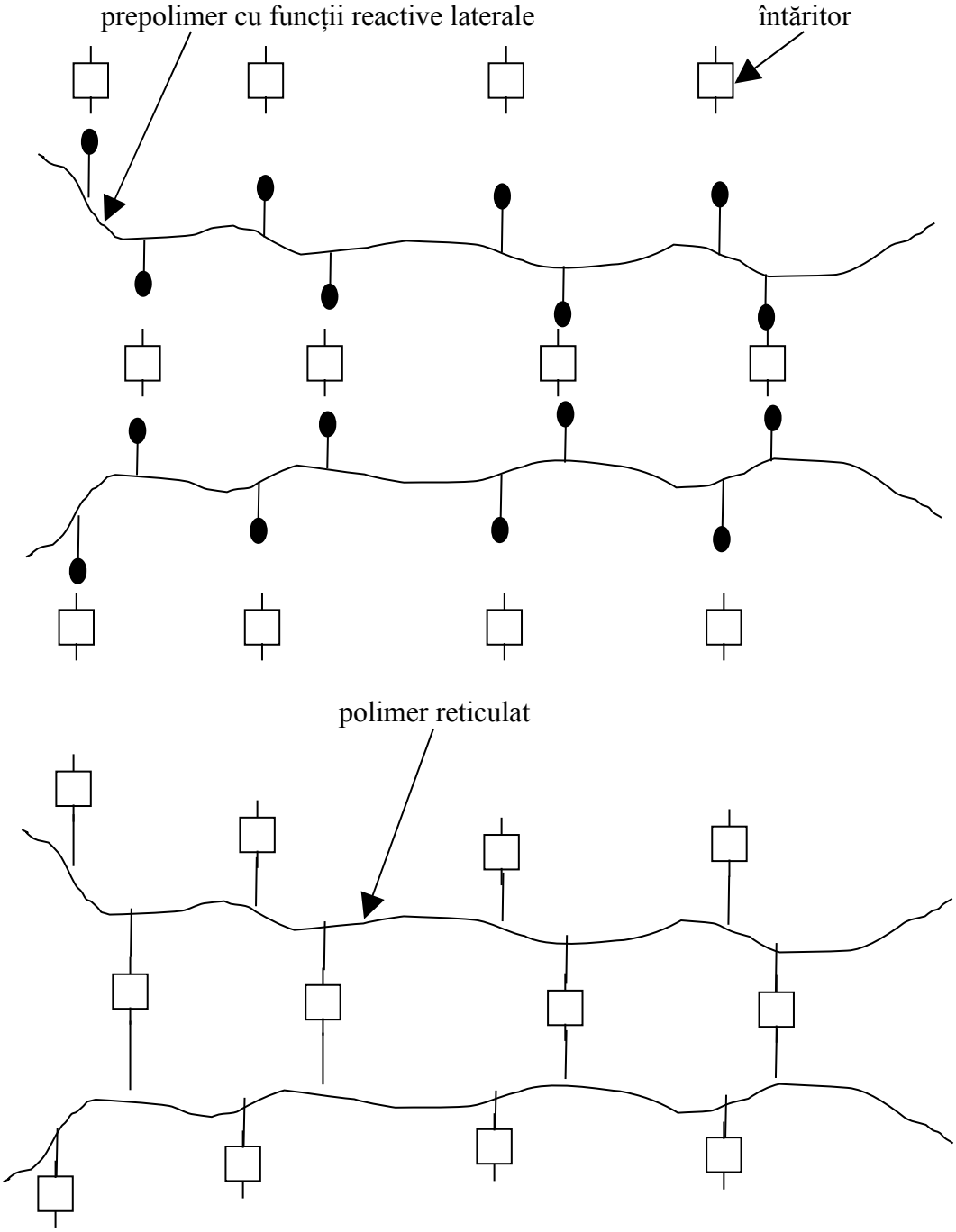


Fig.143
Reticularea unui polimer cu funcții reactive laterale

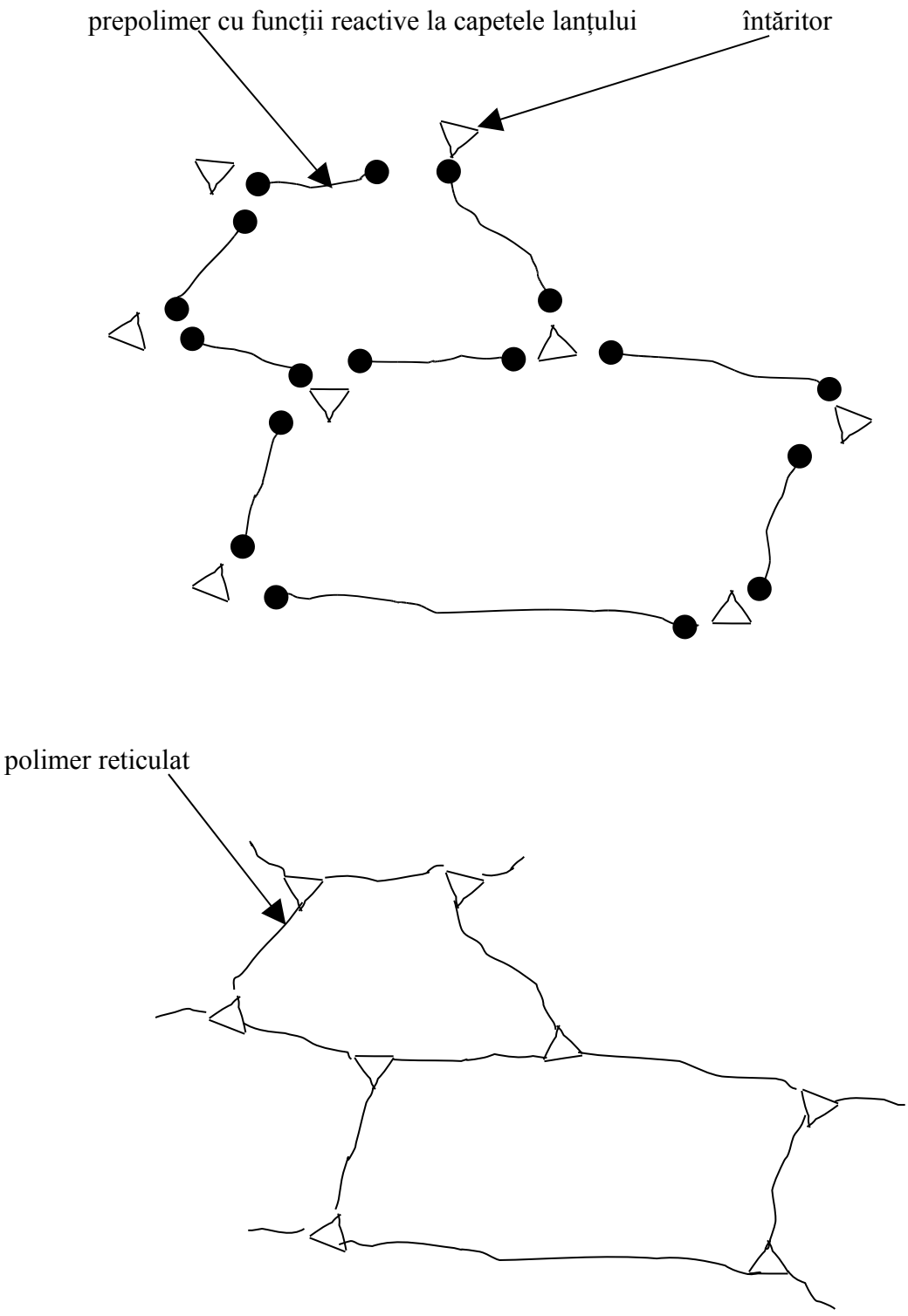


Fig.144
Reticularea unui polimer cu funcții reactive la capetele lanțului

IX.3.2. Principalele caracteristici ale macromoleculelor liniare

Principalele caracteristici ale macromoleculelor liniare sunt următoarele:
-structura motivului monomer;
-imperfecțiunile structurale;
-dimensiunile;
-morfologia.
Structura motivului monomer se referă la:
-geometrie;
-polaritate;
-energia legăturii.
Geometria motivului monomer se referă la :
-simetrie;
-volumul ramificațiilor.

Un motiv monomer poate fi mai mult sau mai puțin simetric. Astfel, polietilena sau politetrafluoretilena (Fig.145) au motive structurale simetrice, în timp ce polimetilpentena are motivul structural asimetric (Fig.146). Simetria monomerului poate influența cristalinitatea polimerului.

a b

Fig.145
Motive structurale simetrice:
a-polietilenă > PE <; b- politetrafluoretilena > PTFE <.

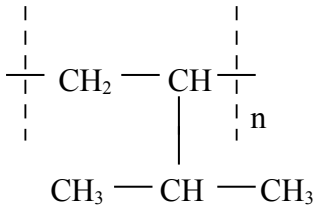
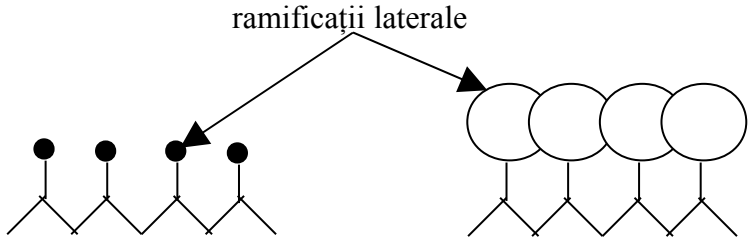


Fig.146
Motivul structural asimetric la polimetilpentenă > PMP <

Dacă volumul ramificațiilor laterale este prea mare, ele se aglomerează atât de mult încât nu mai au loc într-un lanț cu configurație plană în zig-zag (Fig.147), provocând o răsucire în formă de elice a lanțului polimerului. Cu cât aglomerarea ramificațiilor laterale este mai mare, cu atât mobilitatea diferitelor elemente ale lanțului polimerului este mai mică.



a b

Fig.147
Ramificații laterale ale unui polimer liniar
a-ramificații laterale cu volum mic; b- ramificații laterale cu volum mare

Polaritatea intervine la legăturile covalente neomogene datorită diferenței de electronegativitate dintre elemente (Tabelul 24).

Tabelul 24

Elementul chimic	Electronegativitatea X_{eV}
H	2,20
C	2,55
N	3,04
O	3,44
F	3,98
S	2,58
Cl	3,16

Deoarece diferențele de electronegativitate sunt subunitare, caracterul covalent al legăturii eterogene rămâne preponderent, atingând proporții de 80-90 %. Astfel, unele molecule apar polarizate, având un moment de dipol (μ), măsurat în Debye (D):

$$\mu = (X_A - X_B) \cdot d \qquad (94)$$

în care d este distanța interatomică (distanța dintre nucleele atomilor).

Momentul de dipol al unor legături covalente este dat în tabelul 25.

Tabelul 25

Legătura	Diferența de electronegativitate $X_A - X_B$ (eV)	Distanța interatomică d (Å)	Momentul de dipol μ (D)	Observații
C-C	0	1,54	0	Nu are dipol
C-H	0,35	1,08	0,44	
C-O	0,89	1,43	1,20	
C-S	0,03	1,81	0,60	
C-N	0,49	1,47	1,03	
C-F	1,43	1,41	1,51	
C-Cl	0,61	1,77	1,90	

Polaritatea motivului monomer (P) poate fi definită ca suma polarităților diferitelor grupări constitutive ale motivului respectiv. De exemplu, în cazul polistirenului (Fig.148), polaritatea motivului monomer (P_{PS}) este următoarea:

$$P_{PS} = P_{-CH_2-} + P_{-\underset{|}{CH}-} + P_{C_6H_5} \qquad (95)$$

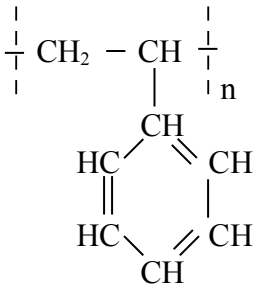


Fig.148
Motivul structural la polistiren > PS <

Valorile polarităților diferitelor grupări constitutive ale motivului monomer sunt date în tabelul 94. Polaritatea intervine la stabilirea unor proprietăți, ca de exemplu: constanta dielectrică, solubilitatea şi, într-o măsură mai mică, rezistența mecanică. În figura 149 se poate observa o atracție între două lanțuri ale aceluiaşi polimer datorită polarizării grupelor de atomi.

Tabelul 94

Gruparea	Polaritatea P (D)
CH_3-	5,64
$CH_2(-)-$	4,65
$CH(\diagdown\diagup)-$	3,62
$C(-)(\vert)(\vert)-$	2,58
$C(\diagdown\diagup)O=$	10
$C\equiv N$	11

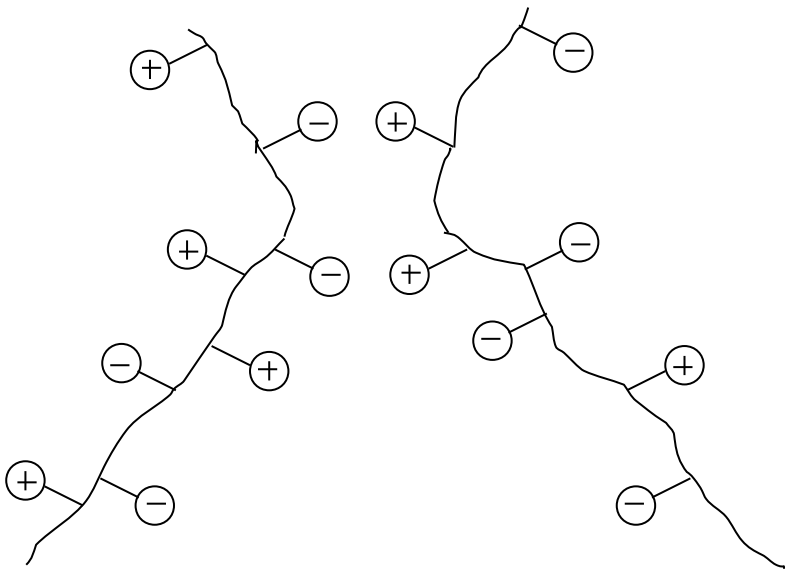


Fig. 149
Polarizarea molară la grupările a două lanțuri ale aceluiaşi polimer

Legătura covalentă poate fi:

-omogenă, realizată între doi atomi identici;

-eterogenă, realizată între doi atomi diferiți.

Ele iau naştere între atomi care au cel puțin un orbital monoelectronic. Orbitalii monoelectronici, destinați legăturii covalente, apar la unele elemente în stare fundamentală, iar la altele în stare hibridizată.

Atomul de carbon (Z=6) nu participă la formarea de legături covalente decât în stare hibridizată, deoarece în stare fundamentală are orbitalul $2p_z$ neocupat (Fig. 150). El realizează cu un alt atom de carbon legături simple, duble sau triple, corespunzătoare stărilor de hibridizare sp^3, sp^2, sp (Tabelul 27).

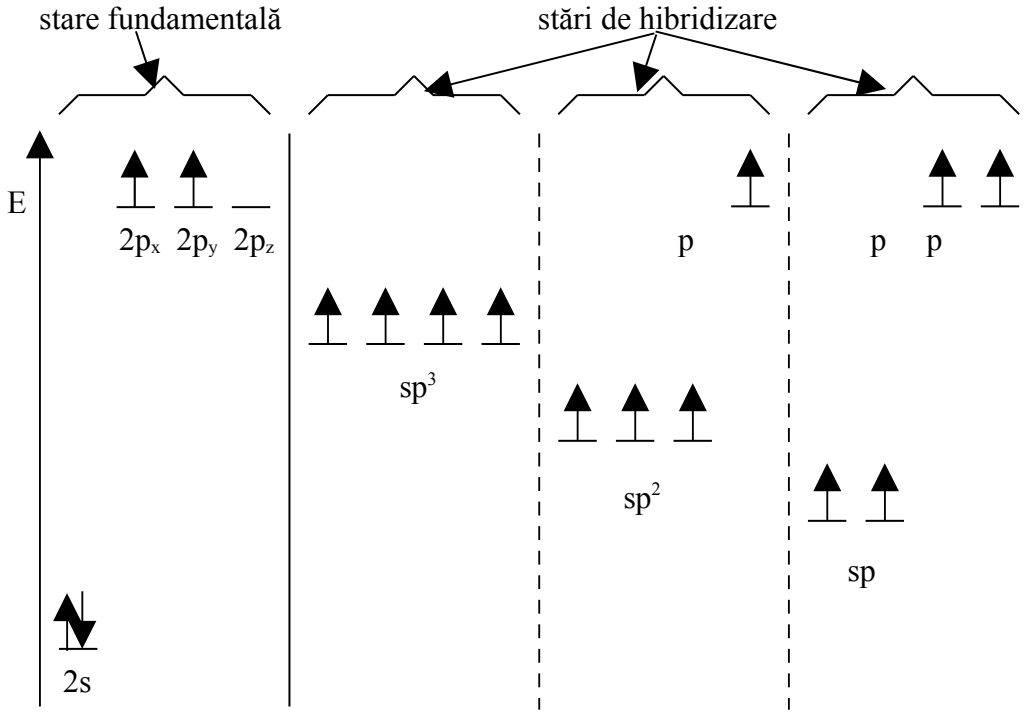


Fig. 150
Starea fundamentală şi stările hibridizate ale stratului 2 al carbonului

Tabelul 27

Element	Tip de hibridizare	Simetria orbitalilor de legătură	Unghiul orbitalilor de legătură	Număr şi tip de dublete	Tip de legătură
C	sp^3	tetragonală	$109^o28'$	4σ	simplă
	sp^2	trigonală	120^o	3σ, 1π	dublă
	sp	diagonală	180^o	2σ, 2π	triplă

Atomul de azot (Z=7) participă la formarea de legături covalente simple, duble sau triple atât în stare fundamentală cât şi în stare hibridizată (Fig.151). Comportarea azotului este dată succint în tabelul 28.

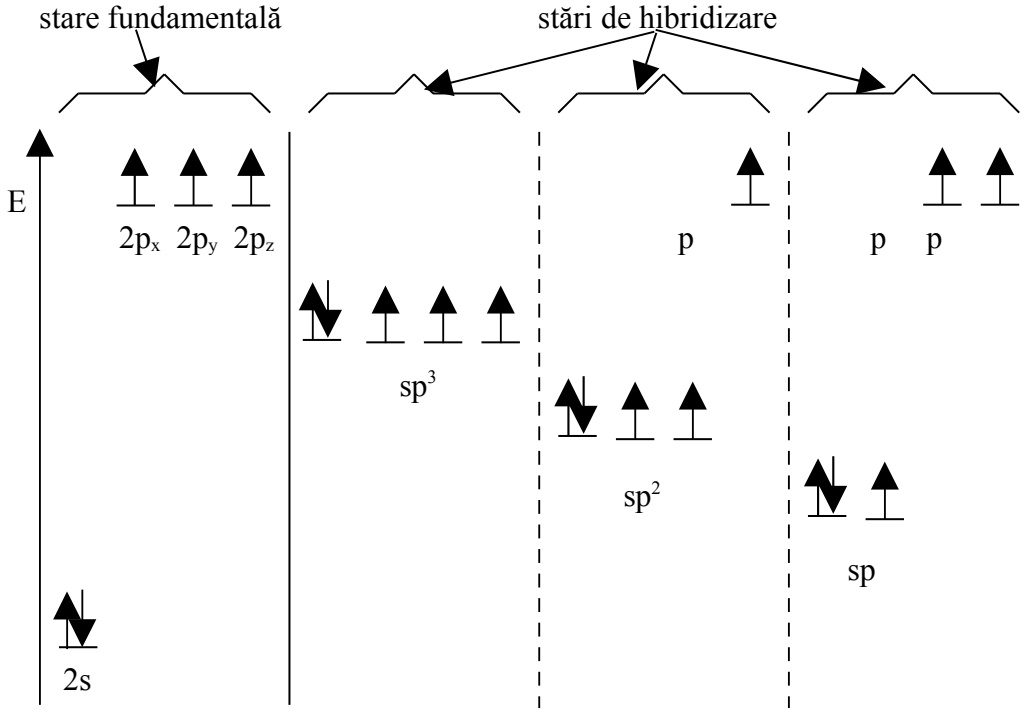


Fig. 151
Starea fundamentală şi stările hibridizate ale stratului 2 al azotului

Tabelul 28

Element	Tip de hibridizare	Simetria orbitalilor de legătură	Unghiul orbitalilor de legătură	Număr şi tip de dublete	Tip de legătură
N	sp^3	tetragonală	109°28’	4σ	simplă
	sp^3	trigonală	120°	3σ	simplă
	sp^2	triagonală	120°	2σ, 1π	dublă
	sp	diagonală	180°	1σ, 2π	triplă

Atomul de oxigen (Z=8) participă la formarea de legături simple, de tip σ, în stare fundamentală, dar poate forma legături covalente simple sau duble în stare hibridizată (Fig. 152). Comportarea oxigenului este dată succint în tabelul 29.

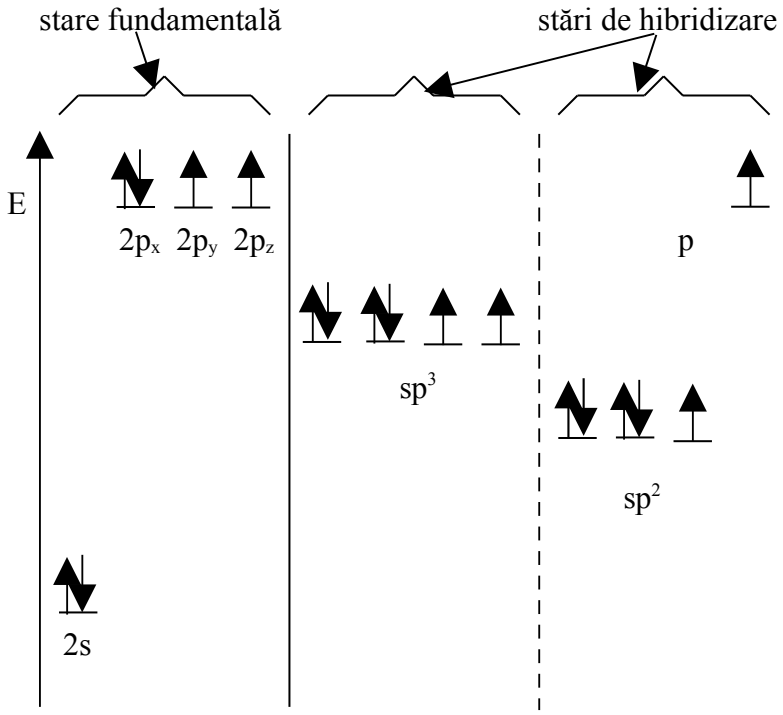


Fig. 152
Starea fundamentală şi stările hibridizate ale stratului 2 al oxigenului

Tabelul 29

Element	Tip de hibridizare	Simetria orbitalilor de legătură	Unghiul orbitalilor de legătură	Număr şi tip de dublete	Tip de legătură
O	sp^3	unghiulară	105°	2σ	simplă
	sp^2	trigonală	120°	1σ, 1π	dublă

Caracteristicele unor legături covalente sunt date în tabelul 30.

Tabelul 30

Legătura	Energia		Distanța
	kJ / mol	kcal / mol	Å
C C −	367	88	1,54
C H −	414	99	1,08
C O −	359	86	1,43
C N −	305	73	1,47
C Cl −	327	78	1,77
C C =	718	172	1,34
C N =	615	147	1,34
C O =	748	179	1,22
N O =	398	95	1,14
C C ≡	832	199	1,21
C N ≡	890	213	1,15

Energia de legătură influnțează stabilitatea termică şi fotochimică a polimerilor. Studiul energiei de legătură permite ameliorarea proprietăților maselor plastice.

Masele plastice nu sunt edificii perfect regulate, formate din motive monomere identice. Imperfecțiunile structurale ale maselor plastice pot apare datorită particularităților procesului industrial şi pot fi :

-ramificațiile lanțului;

-extremitățile lanțului;

-abateri de la structura internă;

-stereoizomeria.

Ramificațiile lanțului polimerului influențează cu atât mai mult proprietățile cu cât sunt mai lungi. Ele se opun tendinței de cristalizare a maselor plastice.

Extremitățile lanțului polimerului, fiind diferite de restul masei plasice, devin de multe ori amorse de ruptură. Ele conțin de multe ori legături duble, care reprezintă punctele unde începe degradarea termică sau îmbătrânirea masei plastice respective.

Abaterile de la structura internă, cum sunt legăturile, duble măresc sensibilitatea la îmbătrânire.

Stereoizomeria este aşezarea diferită în spațiu a diferitelor grupări din polimer, cum sunt radicalii (R). Astfel, radicalii pot intra în lanț în mai multe feluri:

-stereoregulat, predominant:

-isotactic;

-sindiotactic;

-atactic.

Plasarea radicalilor este izotactică, atunci când ei se găsesc de aceeaşi parte a unui plan, care trece prin lanțul polimerului (Fig.153).

Dacă plasarea radicalilor este alternativă, de o parte şi de alta a unui plan, care trece prin lanțul polimerului, atunci ea este denumită sindiotactică (Fig.154).

Dacă plasarea izotactică sau sindiotactică este pe segmente scurte şi nesemnificative ale lanţului, atunci ea se numeşte atactică (Fig.155).

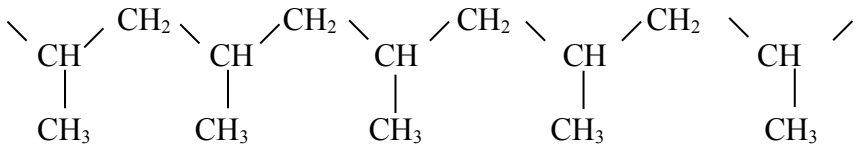


Fig. 153
Plasare izotactică a radicalului CH_3

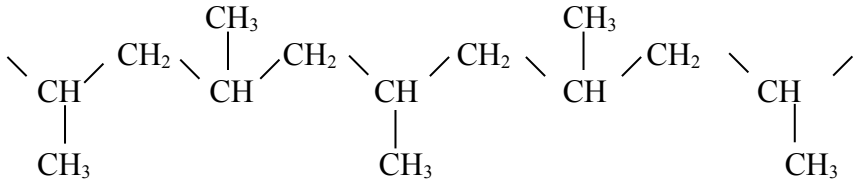


Fig. 154
Plasare sindiotactică a radicalului CH_3

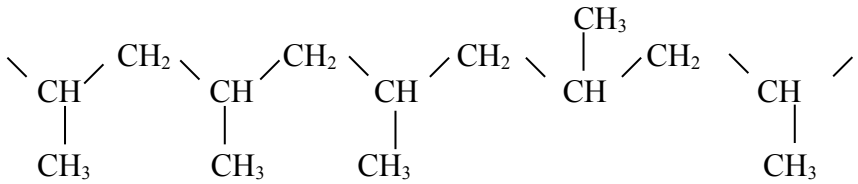


Fig. 155
Plasare atactică a radicalului CH_3

Plasarea sindiotactică a radicalilor favorizează formarea unui lanţ în zig-zag aflat într-un plan, dar cu condiția să nu existe o aglomerare prea mare a ramificațiilor.

O plasare atactică.micşorează mult posibilitatea formării unei structuri cristaline.

Pentru policlorura de vinil, scăderea temperaturii de polimerizare favorizează plasarea sindiotactică (Tabelul 31).

Tabelul 31

Caracteristici	Temperatura de polimerizare °C	
	60-70	-70
Grad de sindiotacticitate	50-53 %	75-80 %
Grad de cristalinitate	5 %	25 %

Dimensiunile macromoleculelor influențează mai mult sau mai puțin proprietățile polimerilor. Ele sunt indicate de gradul de polimerizare.

Dacă masa plastică este formată din acelaşi tip de polimer cu aceeaşi lungime, iar polimerul conține numai un tip de monomer, atunci gradul de polimerizare (DP) este egal cu numărul (i) de meri:

$$DP = \frac{\text{masa moleculară a polimerului}}{\text{masa moleculară a merului}} = i \qquad (95)$$

În cazul policlorurii de vinil (Fig.156), masa moleculară a merului este următoarea:

$$M = 2A_C + 3A_H + A_{Cl} = 62,5 \qquad (96)$$

în care:

A_C =12 (masa moleculară a carbonului);

A_H =1 (masa moleculară a hidrogenului);

A_{Cl}=35,5 (masa moleculară a clorului).

Rezultă că, la numărul (i) de meri egal cu 1000, masa moleculară a polimerului (M_w) este:

$$M_w = M \cdot i = 62,5 \cdot 1000 = 62500 \qquad (97)$$

Deci, gradul de polimerizare este:

$$DP = \frac{M_w}{M} = \frac{62500}{62,5} = 1000 = i \qquad (98)$$

Dacă masa plastică este formată din acelaş tip de polimer cu lungimi diferite şi, deci, cu mase moleculare diferite, atunci masa moleculară medie de masă a polimerului (M_w) este:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum w_i \cdot M_i}{\sum w_i} \qquad (99)$$

în care: M_i – masa moleculară medie a unui interval;

-w_i este fracţia de masă a lanţurilor care au masa moleculară cuprinsă în intervalul respectiv.

De exemplu, la un polimer au fost efectuate determinări pentru mărimile M_i şi f_I (Tabelul 32).

Tabelul 32

Intervalul masei moleculare	Masa moleculară medie a intervalului M_i	Fracţia de masă a lanţurilor care au masa moleculară cuprinsă în intervalul respectiv w_i	Produsul w_iM_i
0-5000	2500	0,01	25
5000-10000	7500	0,05	375
10000-15000	12500	0,07	875
15000-20000	17500	0,23	4025
20000-25000	22500	0,28	6300
25000-30000	27500	0,22	6050
30000-35000	32500	0,10	3250
35000-40000	37500	0,03	1125
40000-45000	42500	0,01	425

Rezultă:

$$\sum w_i = 1 \qquad (100)$$

$$\sum w_i \cdot M_i = 22450 \qquad (101)$$

$$\bar{M}_w = \frac{\sum w_i \cdot M_i}{} = 22450 \qquad (102)$$

$\sum wi$

Dacă masa plastică este formată din acelaş tip de polimer cu lungimi diferite şi, deci, cu mase moleculare diferite, atunci masa moleculară medie de număr a polimerului (M_n) este:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum ni \cdot Mi}{\sum n_i} \qquad (103)$$

în care: M_i – masa moleculară medie a unui interval de masă;

-n_i este fracţia de număr a lanţurilor care au masa moleculară cuprinsă în intervalul respectiv.

De exemplu, la un polimer au fost efectuate determinări pentru mărimile M_i şi n_i (Tabelul 33).

Tabelul 33

Intervalul masei moleculare	Masa moleculară medie a intervalului M_i	Fracţia de număr a lanţurilor care au masa moleculară cuprinsă în intervalul respectiv n_i	Produsul n_iM_i
0-5000	2500	0,02	50
5000-10000	7500	0,08	600
10000-15000	12500	0,11	1375
15000-20000	17500	0,19	3325
20000-25000	22500	0,23	5175
25000-30000	27500	0,25	6875
30000-35000	32500	0,08	2600
35000-40000	37500	0,03	1125
40000-45000	42500	0,01	425

Rezultă:

$$\sum n_i = 1 \qquad (104)$$

$$\sum n_iM_i = 21550 \qquad (105)$$

$$\bar{M}_n = \frac{\sum ni \cdot Mi}{\sum ni} = 21550 \qquad (106)$$

Reprezentarea grafică a distribuției masei molare a polimerilor din exemplul luat în tabelul 34 este dată în figura 156.

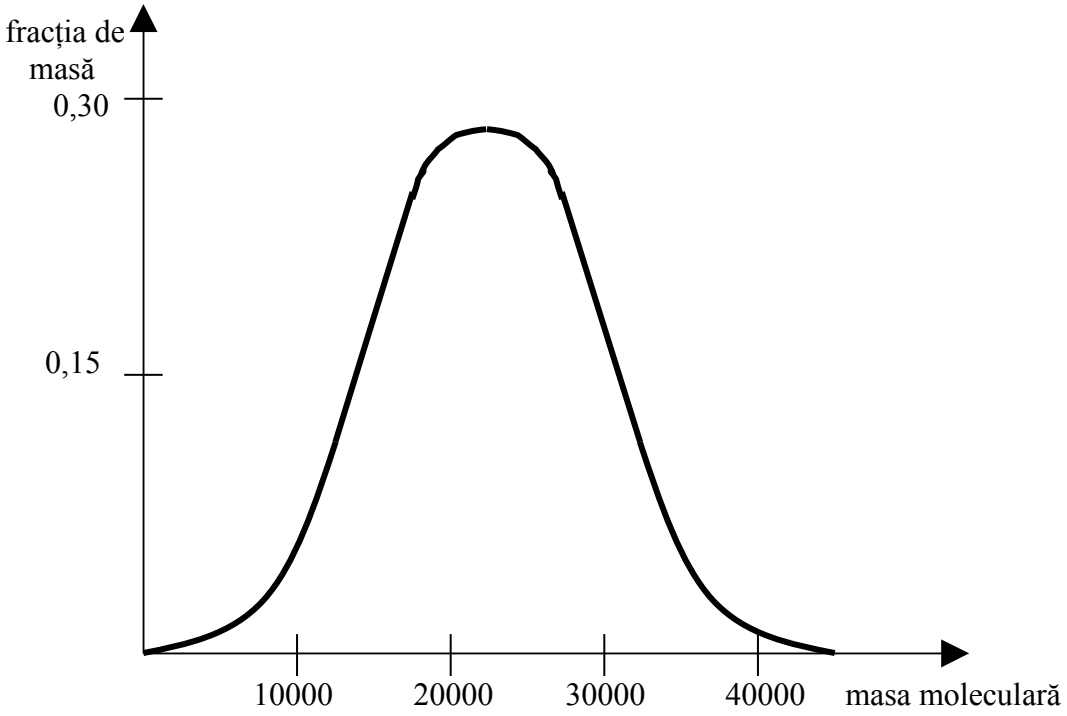


Fig. 156
Distribuția masei moleculare la un polimer liniar

Polidispersitatea (P) este definită ca raportul dintre masa moleculară medie de masă (M_w) şi masa moleculară medie de număr (M_n). La materialele homodisperse, polidispersia este egală cu unitatea:

$$P = 1 \qquad (107)$$

Masele plastice au polidispersia mai mare ca 1, uneori chiar mai mare ca 10, ca în cazul polietilenei.

Ca şi masa moleculară medie, gradul de polimerizare mediu poate fi:
-de masă ($\overline{DP}_w$);
-de număr ($\overline{DP}_n$).
Gradul de polimerizare mediu de masă ($\overline{\overline{DP}}_w$) este dat de relația:

$$\overline{\overline{DP}}_w = \frac{\sum i_i \cdot w_i}{\sum w_i} \qquad (108)$$

în care i_i este numărul mediu de meri al unui polimer în intervalul de masă moleculară considerat, de fracție de masă w_i.

Gradul de polimerizare mediu de număr ($\overline{DP_n}$) este dat de relația:

$$\overline{DP_n} = \frac{\sum i_i \cdot n_i}{\sum n_i} \qquad (109)$$

în care i_i este numărul mediu de meri al unui polimer în intervalul de masă moleculară considerat, de fracție de număr n_i.

În cazul copolimerilor, trebuie să se ia în considerație în plus față de polimeri, fracția de masă sau de număr a fiecărui tip de monomer în cadrul lanțului fiecărui polimer, motiv pentru care, calculul gradului de polimerizare este mult mai laborios.

Morfologia macromoleculelor liniare se ocupă de modul în care sunt dispuse în spațiu lanțurile acestor macromolecule.

Studiul morfologiei macromoleculelor liniare poate fi efectuat pe trei direcții principale:

-polimerii amorfi;

-polimerii semicristalini;

-materialele cu două faze amorfe.

Structura polimerilor amorfi (Fig.157) este caracterizată prin absența ordinii moleculare depărtate (la o distanță superioară ordinului de mărime merului din polimer). Această structură se aseamănă cu cea a lichidelor şi prezintă abateri de la omogenitate, printre care cele mai importante sunt:

-orientarea;

-defectele de gelificare;

-microporii;

-zonele degradate (fish eyes etc.).

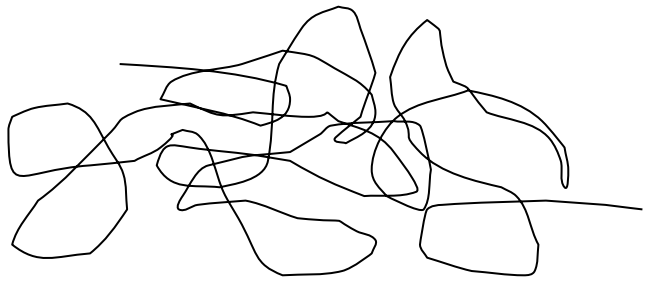


Fig.157
Polimer amorf neorientat

Polimerii amorfi pot avea local o orientare uniaxială sau multiaxială, care apare datorită unor deformări la temperaturi ridicate(Fig. 158). Orientarea este însoțită de o anizotropie a proprietăților, care prezintă uneori interes practic. Dacă se redă mobilitatea lanțurilor polimerilor, orientarea dispare, fiind însoțită de modificări dimensionale importante.

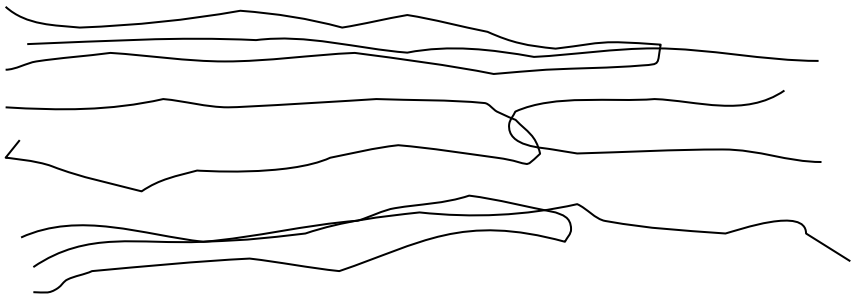


Fig.158
Polimer amorf orientat

Defectele de gelificare apar la încălzirile accidental incomplete de înaintea obținerii formei prin injecție, la care masele plastice sub formă de granulele sunt gelificate numai parțial. Structura granulară a defectelor de gelificare micşorează rezistența mecanică.

Microporii şi zonele degradate sunt defecte nedorite ale produselor obținute din polimeri amorfi.

Polimerii semicristalini au o structură formată din cristalite într-o matrice amorfă (Fig.159).

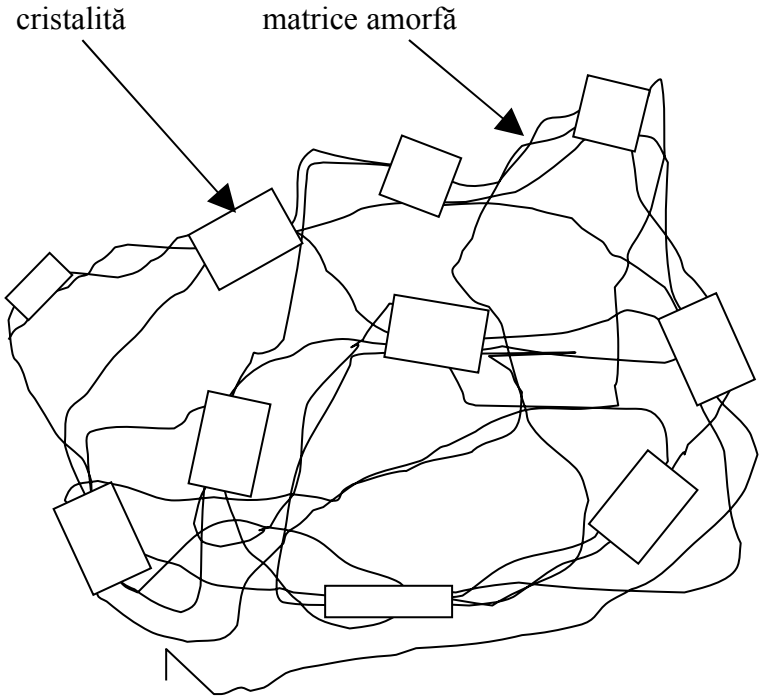


Fig.159
Polimer semicristalin

Cristalitele se pot prezenta sub formă de :
-paralelipiped, întâlnită cel mai frecvent (Fig.160);
-sferă, caz în care se mai numesc sferolite.

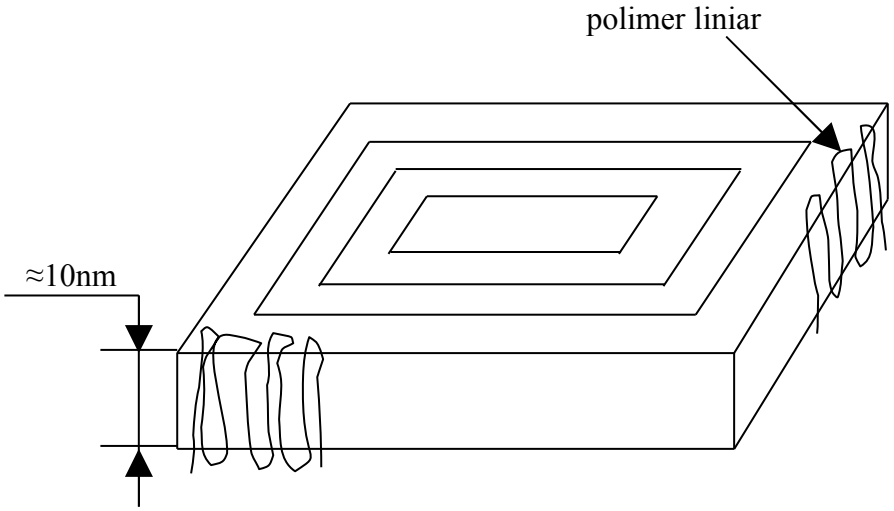


Fig.160
Cristalit

Rețelele cristaline ale cristalitelor sunt aceleaşi ca la metale (Tabelul 34), având 7 celule elementare, care definesc 7 sisteme cristaline (Tabelul 35). .

Tabelul 34

Polimerul	Rețeaua cristalină	Grad de cristalinitate x_c
Polietilena de mare densitate	ortorombică	80
Poliamida 66	triclinic	70
Polioximetilena (poliacetalul)	romboedric	80

Tabelul 35

Sisteme cristaline	Parametrii rețelei	
	a , b , c	α, β, γ
Cubic	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$
Romboedric	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$
Hexagonal	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = 90; \gamma = 120^0$
Tetraedric	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$
Ortorombic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90^0$
Monoclinic	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \gamma = 90^0 \neq \beta$
Triclinic	a ≠ b ≠ c	α ≠ β ≠ γ

Un polimer poate avea un segment din lanț în cristalit şi restul în faza amorfă. Astfel, se poate defini un grad de cristalinitate (x_c), ca fracția molară a merilor din polimeri prezenți în cristalite sau în formațiuni paracristaline.

Unele mase plastice formate din copolimeri liniari suferă la răcire o separare a anumitor segmente din lanţ, formând faze diferite. De exemplu, în lanţul de acrilonitril / butadien / stiren (ABS), ramurile grefate de polibutadienă se separă formînd particule cauciucate (Ø 30-50 nm) bine dispersate într-o matrice termoplastică de stiren acrilonitril (Fig. 161).

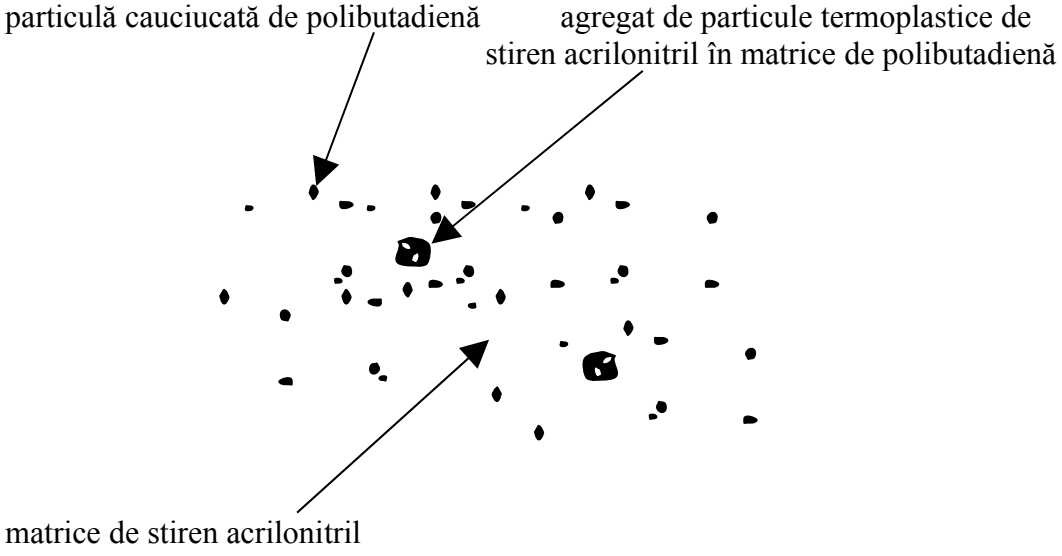

particulă cauciucată de polibutadienă
agregat de particule termoplastice de stiren acrilonitril în matrice de polibutadienă
matrice de stiren acrilonitril

Fig.161
Acrilonitril / butadien / stiren cu două faze amorfe
(particule cauciucată de polibutadienă şi matrice de stiren acrilonitril)

Această structură oferă o bună rezistenţă la şoc, datorată particulelor cauciucate de polibutadienă şi o rigiditate satisfăcătoare permisă de matricea de stiren acrilonitril.

IX.3.3. Principalele caracteristici ale macromoleculelor tridimensionale

Polimerii tridimensionali formează o moleculă care ocupă tot volumul obiectului, motiv pentru care masa moleculară este următoarea:

$$M = m \cdot N \qquad (110)$$

în care : m este masa obiectului, în grame;

-N – numărul lui Avogadro ($6{,}023 \cdot 10^{23}$).

Simetria şi stereoizomeria nu mai sunt importante, astfel că principalele caracteristici ale macromoleculelor tridimensionale se reduc la următoarele:

-dimensiunile;

-morfologia.

Dimensiunile macromoleculei tridimensionale sunt cele ale obiectului, iar masa moleculară este dată de relația 110.

Macromolecula tridimensională este amorfă, fiind caracterizată prin absența ordinii moleculare. Această structură se aseamănă cu cea a lichidelor şi prezintă abateri de la omogenitate, printre care cele mai importante sunt (Fig.162):

-zonele insuficient reticulate;

-zonele suprareticulate;

-moleculele nelegate la rețea;

-microporii.

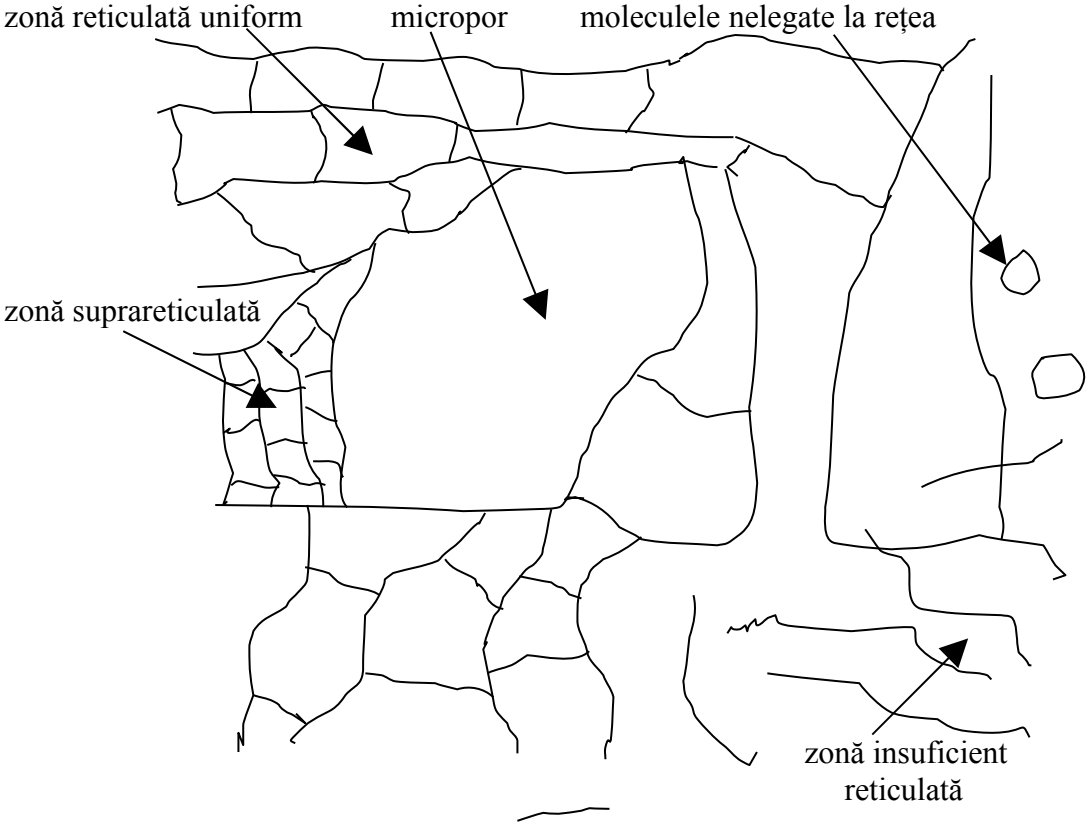


Fig. 162

Zonele insuficient reticulate sau cele suprareticulate se datoresc unei amestecări neomogene şi au proprietăți diferite, constituind un defect.

Un alt defect tipic îl reprezintă moleculele nelegate la rețea, care apar datorită unei cantități insuficiente de întăritor sau a unei amestecări necorespunzătoare.

IX.3.4. Tranziția de fază a polimerilor

Legătura covalentă permite rotația unui atom din poziția 1 în poziția 2 în jurul bazei unui con cu unghiul la vârf dat de relația (Fig.163):

$$\alpha = 2(\pi - \theta) \qquad (111)$$

în care θ este unghiul de valență.

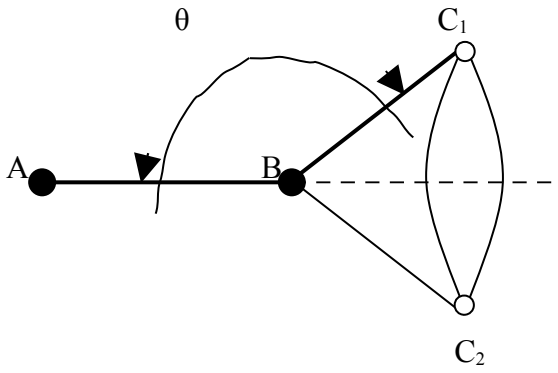


Fig.163
Rotația atomului C din poziția 1 în poziția 2

Trecerea de la o configurație la alta a unui atom este caracterizată prin următoarele elemente:

-timpul de corelare (τ);

-energia de activare (E_a).

Există următoarea relație între cele două elemente menționate anterior:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\frac{E_a}{RT}} \qquad (112)$$

în care: τ_0 este timpul de corelare în condiții standard;

-R – constanta gazelor perfecte.

În cazul polimerilor, se poate realiza rotația următoarelor componente ale lanțului:

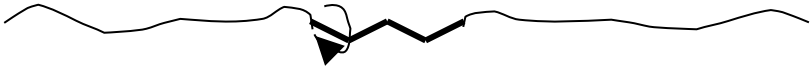
-ramificațiile laterale (Fig. 164.a);

-segmentele scurte din lanț (Fig. 164.b);

-segmentele lungi din lanț (Fig. 164.c);

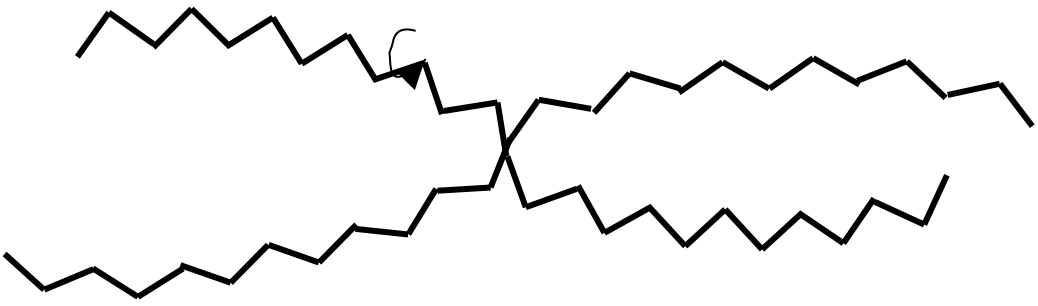
-lanțul în întregime în raport cu altul (Fig. 164.d).

a



b

c



d

Fig. 164
Rotația unor componente ale lanțului:
a-ramificațiile laterale; b-segmentele scurte din lanț;
c-segmentele lungi din lanț; d-lanțul în întregime în raport cu altul.

Trecerea de la rotaţia unui component la altul din lanţ se numeşte tranziţie. Rezultă următoarele tranziţii posibile:

-tranziţia de ordinul 1: trecerea de la rotaţia ramificaţiilor laterale la rotaţia segmentelor scurte din lanţ;

-tranziţia de ordinul 2 (tranziţia vitroasă): trecerea de la rotaţia segmentelor scurte din lanţ la rotaţia segmentelor lungi din lanţ;

-tranziţia de ordinul 3 (tranziţia lichid-lichid): trecerea de la rotaţia segmentelor lungi din lanţ la rotaţia lanţului în întregime în raport cu altul.

Tranziţia este specifică polimerilor liniari amorfi. La polimerii liniari semicristalini este posibilă tranziţia numai în zonele amorfe, nefiind posibilă în cristalite datorită blocajelor existente, dar apare în plus tranziţia specifică stării cristaline, şi anume topirea.

Tranziţia cea mai importantă a polimerilor amorfi este tranziţia de ordinul 2 (tranziţia vitroasă), care reprezintă de fapt trecerea de la starea vitroasă (de sticlă) la starea cauciucată (de cauciuc). Astfel, în cazul polistirenului, modulul de elasticitate liniară (E) scade la temperatura de tranziţie vitroasă de la 10^{10} la 10^{7} dyne · cm^{-2} (Fig. 165).

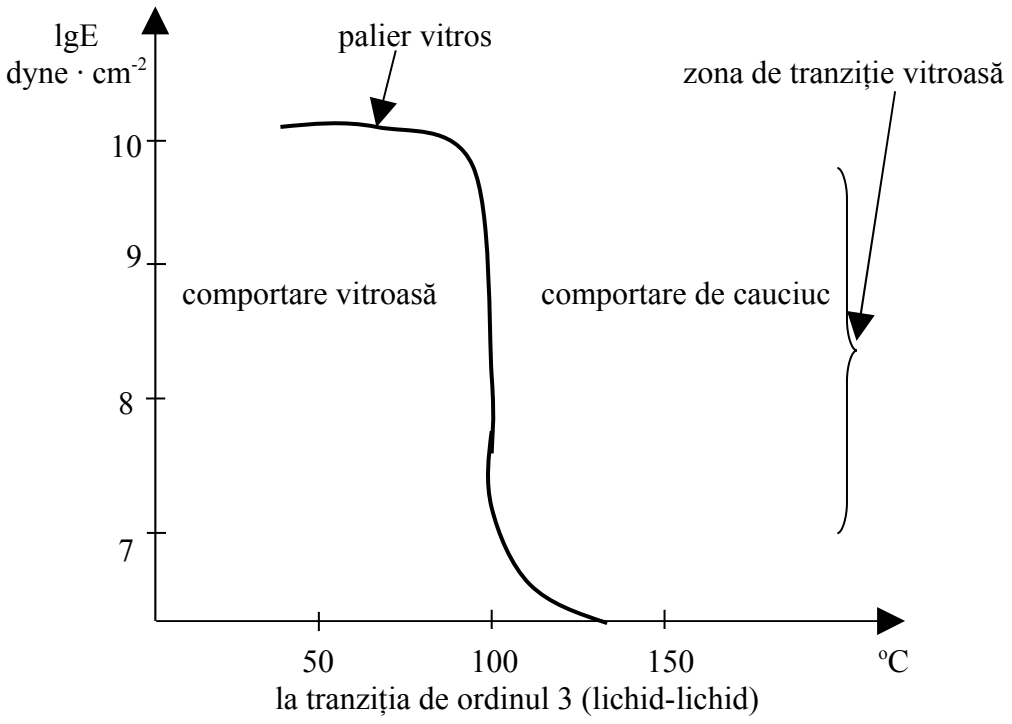


Fig. 165
Variaţia modulului de elasticitate cu temperatura la polistiren
la tranziţia de ordinul 2 (vitroasă)

Tranziţia vitroasă apare la diferite temperaturi (Tabelul 36), care reprezintă temperatura la care apar rotaţii ale segmentelor lungi din lanţ.

Tabelul 36

Polimerul	Temperatura de tranziție vitroasă ^oC
Polietilena > PE <	-83
Policlorura de vinil > PVC <	80
Polistirenul > PS <	100
Polimetacrilatul de metil > PMMA <	100
Poliepoxidul > EP <	420

S-a constatat că polimerii se diferențiază prin următoarele caracteristici principale:

-temperatura de tranziție vitroasă;

-modulul de elasticitate în stare cauciucată.

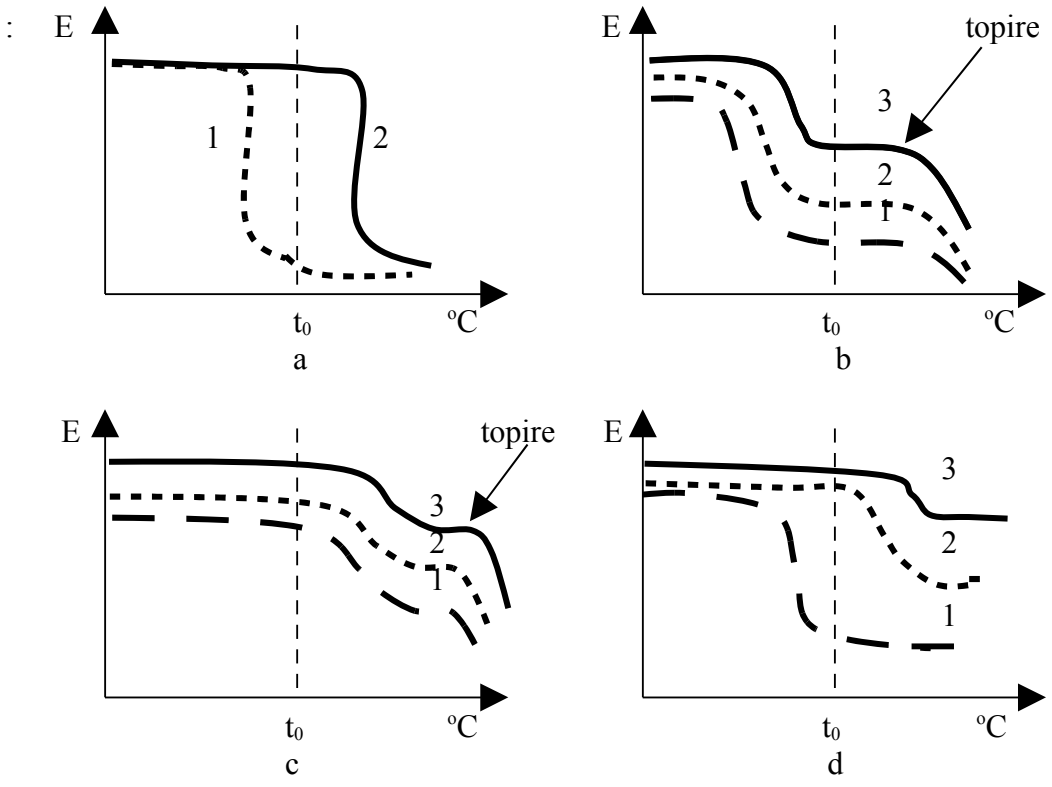


Fig.166

Variația modulului de elasticitate cu temperatura:

t_0-temperatura ambiantă;

a-polimeri liniari amorfi (1-cauciuc; 2-sticlă organică);

b-polimeri liniari semicristalini de tip polietilenă sau polipropilenă (gradul de cristalinitate creşte de la 1 la 3);

c- polimeri liniari semicristalini de tip poliamidă sau politereftalat de etil (gradul de cristalinitate creşte de la 1 la 3);

d- polimeri tridimensionali amorfi (gradul de reticulare creşte de la 1 la 3).

Modulul de elasticitate în în stare vitroasă depinde puţin de structură.

Astfel, polimerii pot fi:

-liniari amorfi (Fig. 166.a);

-liniari semicristalini de tip polietilenă > PE < sau polipropilenă > PP < (Fig. 166..b);

-liniari semicristalini de tip poliamidă >PA< sau politereftalat de etil >PETP< (Fig. 166.c);

-tridimensionali amorfi (Fig. 166.d).

Tranziţia de ordinul 3 (tranziţia lichid-lichid) este trecerea de la rotaţia segmentelor lungi din lanţ la rotaţia lanţului în întregime în raport cu altul. În cazul polistirenului, la sfârşitul palierului cauciucat (10^6 dyne · cm^{-2}), modulul de elasticitate liniară (E) începe să scadă, astfel că la temperatura de 200 °C polimerul este considerat în stare lichidă (Fig.167).

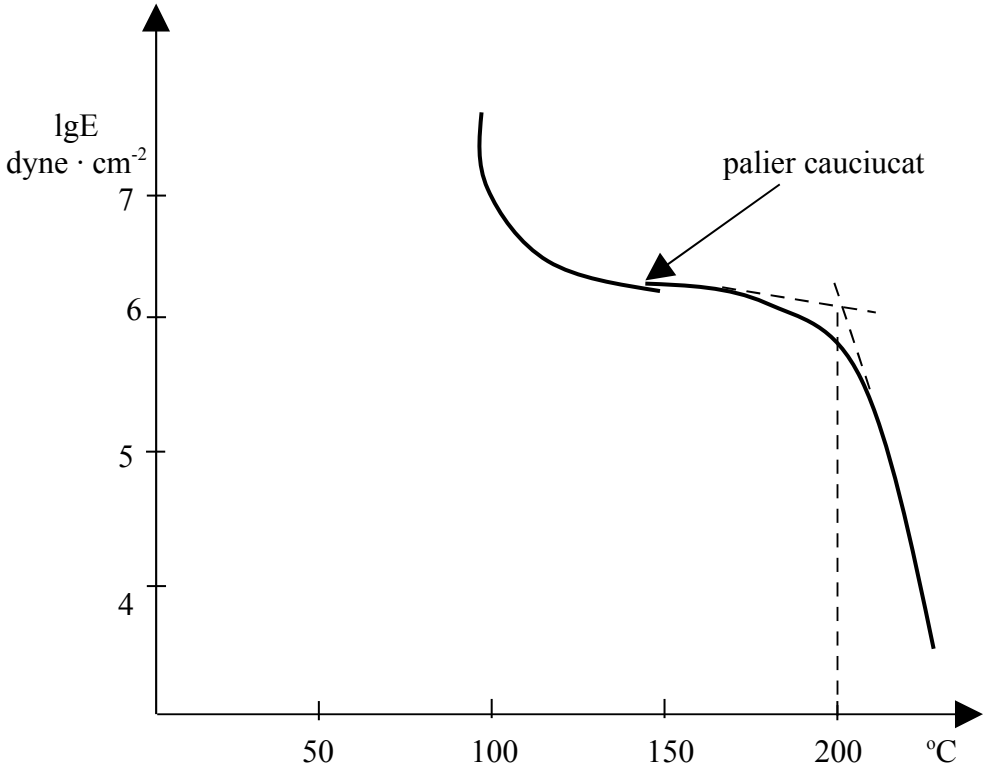


Fig. 167
Variaţia modulului de elasticitate cu temperatura la polistiren
la tranziţia de ordinul 3 (lichid-lichid)

Cu cât masa moleculară este mai mare, cu atât palierul cauciucat este mai mare, deci tranziţia lichid-lichid se realizează la o temperatură mai mare. Acest aspect poate deveni nefavorabil în timpul prelucrării prin injecţie, când temperatura de încălzire prea mare duce la degradare termică.

La polimerii tridimensionali nu este posibilă tranziția de ordinul 3, deoarece legăturile laterale fac imposibilă rotația unui lanț în raport cu altul.

Topirea cristalitelor este mai dificilă la mase moleculare superioare. În general, între temperatura absolută de topire (T_t) şi temperatura absolută de tranziție vitroasă (T_v) este relația următoare:

$$T_v = (0{,}65 \pm 0{,}10)\, T_t \qquad (112)$$

Cristalizarea este procesul invers topirii polimerilor şi se realizează în două etape:

-germinarea;

-creşterea cristalelor.

Viscozitatea şi agitația termică influențează nefavorabil cristalizarea.

IX.4. Materiale de adaos

Materialele de adaos sunt utilizate în vederea modificării anumitor proprietăți ale polimerilor.

Aceste materiale trebuie să satisfacă anumite cerințe, printre care cele mai importante sunt următoarele:

-să fie compatibile cu procedeul de prelucrare al polimerului;
-să fie compatibile cu celelalte materiale de adaos;
-să nu fie toxice;
-să-şi păstreze în timp proprietățile şi distribuția în masa polimerului;
-să aibă raportul calitate / preț cât mai convenabil.

O posibilă clasificare după scop a materialelor de adaos este următoarea:

-plastifianți;
-materiale de şarjare;
-materiale de armare;
-stabilizanți:
    -la acțiunea oxigenului;
    -la acțiunea căldurii;
    -la acțiunea luminii;
-coloranți;
-ignifugi;
-antistatici;
-lubrifianți.

Plastifianții sunt diluanți grei care distrug parțial punțile dintre lanțurile polimerului (Fig.168), transformându-l dintr-un material rigid într-unul suplu. La creşterea conținutului de plastifiant scade atât rigiditatea cât şi temperatura de tranziție vitroasă.

Simbolurile pentru plastifianți sunt indicate de SR ISO 1043-3:1994 şi anume:

-ester al acidului alchilsulfonic (ASE);
-ftalat de benzilbutil (BBP);
-adipat de benziloctil (BOA);
-ftalat de butiloctil (BOP);
-ftalat de dibutil (DBP);
-sebacat de dibutil (DBS);
-ftalat de diclohexil (DCHP);
-ftalat de dicapril (DCP);
-ftalat de dietil (DEP);
-ftalat de diheptil (DHP);
-ftalat de disobutil (DIBP);
-adipat de diisodecil (DIDA);
-ftalat de diisodecil (DIDP);
-ftalat de diisoheptil (DIHP);
-ftalat de diisohexil (DIHXP);
-adipat de diisononil (DINA);

-ftalat de diisononil (DINP);
-adipat de diisooctil (DIOP);
-ftalat de diisopentil (DIPP);

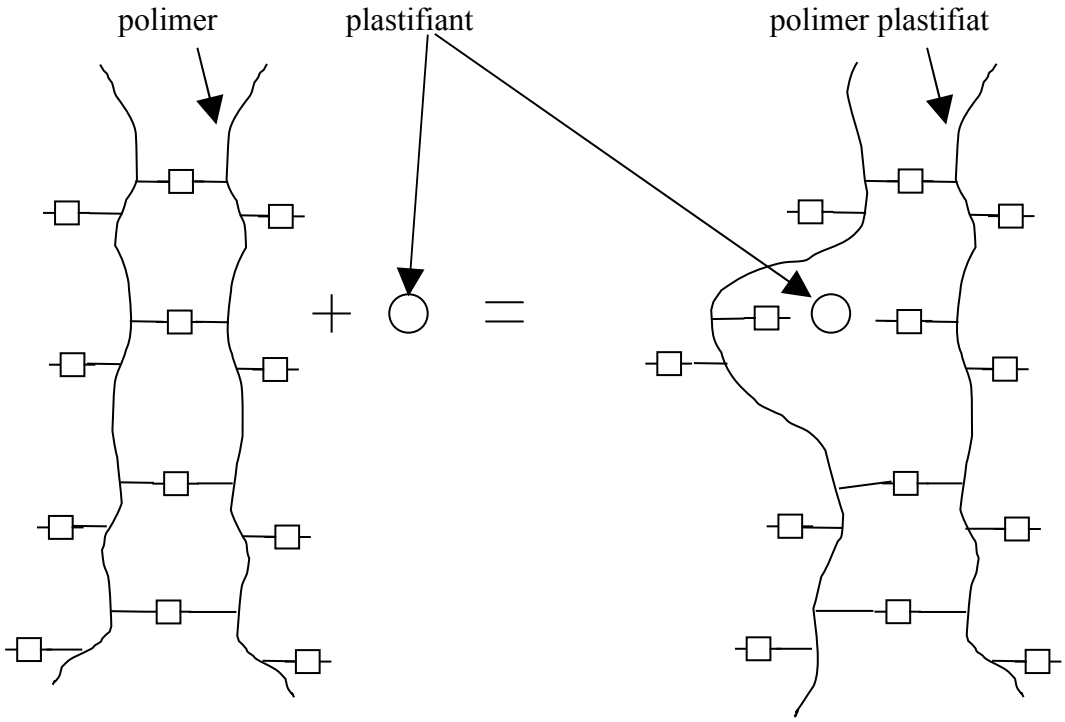


Fig.168
Formarea unui polimer liniar plastifiat

-ftalat de diisotridecil (DITDP);
-ftalat de dimetil (DMP);
-ftalat de di-n-octil (DNOP);
-ftalat de dinonil (DNP);
-adipat de dioctil (DOA);
-isoftalat de dioctil (DOIP);
-ftalat de dioctil (DOP);
-sebacat de dioctil (DOS);
-tereftalat de dioctil (DOTP);
-azelat de dioctil (DOZ);
-fosfat de difenilcrezil (DPCF);
-fosfat de difeniloctil (DPOF);
-ftalat de diundecil (DUP);
-ulei de in epoxidat (ELO);
-ulei de soia epoxidat (ESO);
-adipat de heptilnonilundecil (HNUA);
-ftalat de heptilnonilundecil (HNUP);
-adipat de hexiloctildecil (HXODA);
-ftalat de hexiloctildecil (HXODP);
-adipat de nonilundecil (NUA);

-ftalat de nonilundecil (NUP);
-adipat de octildecil (ODA);
-ftalat de octildecil (ODP);

-trimetilat de n-octildecil (ODTM);
-fosfat de tricloetil (TCEF);
-fosfat de tricrezil (TCP);
-trimelitat de triheptil (THTM);
-trimelitat de triisooctil (TIOTM);
-fosfat de trioctil (TOF);
-piromelitat de tetraoctil (TOPM);
-trimelitat de trioctil (TOTM);
-fosfat de trifenil (TPF);
-fosfat de trixilen (TXP).

Plastifianții sunt foarte mult utilizați, în proporții ce pot depăşi cu 100 % masa polimerulu, la ameliorarea proprietăților policlorurii de vinil, care are temperatura de tranziție vitroasă la 80ºC.

Materialele de şarjare sunt amestecate cu polimerul pentru ameliorarea rezistenței la uzare şi mecanice a polimerului sau pentru a permite obținerea unui volum mare cu un consum redus de polimer, caz în care se mai numesc materiale de umplutură.

Tabelul 37

Materialul	Simbolul	Forma sau structura	Simbolul
Bor	B	Granule, sfere, bile	B
Carbon	C	Aşchii, tăieturi	C
Argilă	D	Pudră	D
Sticlă	G	Material granulat	G
		Cristal filiform	H
Carbonat de calciu	K	Tricot	K
Celuloză	L	Strat	L
Mineral (azbest etc.) sau metal	M	Mat	M
		Nețesut	N
Mică	P	Hârtie	P
Silice	Q		
Aramidă	R	Stratifil	
Sintetic, organic (politetrafluoretilenă etc)	S	Solzi, paiete	S
Talc	T	Fibre scurte	T
		Foi pentru placare	
Lemn	W	Țesut	W
Nespecificat	X	Nespecificat	X
		Fir	Y

Altele (bisulfura de molibden etc.)	Z	Altele	Z

Materialele de armare sunt amestecate cu polimerul tot pentru ameliorarea rezistenței mecanice a polimerului, motiv pentru care uneori sunt prezentate împreună cu materialele de şarjare. Astfel, simbolizarea materialelor de şarjare şi de armare este indicată de SR ISO 1043-2:1994 (Tabelul 38).

Borul este un nemetal de culoare neagră sau maron, foarte reactiv, insolubil în apă, alcool, dar solubil în acid sulfuric sau azotic concentrat. Este utilizat sub formă de fibre cu grosimea de 2-3 μm la armarea răşinilor epoxidice sau a poliesterilor.

Carbonul sub formă de negru de fum este cea mai mică particulă obținută pe cale industrială. Este o pulbere amorfă insolibilă în toți solvenții. Este utilizat în special ca material de armare la obținerea pneurilor.

Grafitul este o formă cristalină alotropică a carbonului rezistentă la oxidare şi la şoc termic, având coeficientul de frecare 0,1μ . Este utilizat ca material de armare şi ca lubrifiant la produsele din mase plastice, care au deja bune proprietăți de lubrifiere (poliamide).

Fibra de carbon este o formă amorfă cu diametrul de 7-8 μm. Este rezistentă la acțiunea acizilor şi bazelor, iar modulul său de elasticitate este apropiat de al oțelurilor, la o densitate de patru ori mai mică. Rezistența la coroziune a fibrei de carbon este mai bună decât a sticlei.

Fibrele de carbon pot fi:

-tăiate mărunt (30 μm-3 mm);

-scurte (3-5 mm);

-lungi (5-20mm);

-continui.

Fibrele de carbon sunt utilizate în special la armarea răşinilor epoxidice sau a poliesterilor.

Argila este un silicat hidratat de aluminiu cu formula $Al_2O_3SiO_2 \cdot xH_2O$, sub formă de cristale cu dimensiunea de 1-150 μm, insolubil în apă şi solvenți organici, deosebit de refractar. Argila este utilizată ca material de umplutură, de multe ori asociată nisipului, la obținerea obiectelor din diferite materiale plastice.

Sticla este un material ceramic format dintr-un amestec uniform de nisip cuarțos, carbonat de sodiu şi caolin. Este rezistentă la atacul chimic al multor substanțe, cu excepția acidului fosforic sau a soluțiilor alcaline aflate la temperaturi superioare temperaturii ambiante. Fibrele de sticlă sunt utilizate la armarea obiectelor obținute, în special, din poliesteri nesaturați sau răşini epoxidice.

Carbonatul de calciu este o pulbere albă, uşor solubilă în apă, solubilă în acizi şi se găseşte în natură sub formă de calcar, cretă, caolin, marmură, etc. Carbonatul de calciu este utilizat ca material de umplutură la obținerea obiectelor din diferite materiale plastice.

Azbestul este un silicat hidratat de magneziu ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), care se găseşte sub formă de fibre albe, cenuşii sau verzui în diferite minerale (serpentină sau amfibol). Fibrele de azbest din serpentină sunt mai lungi, dar mai puțin refractare decât cele din amfibol. Aceste fibre sunt utilizate la armarea obiectelor obținute din mase plastice expuse la temperaturi ridicate, cu condiția ca pulberea de

azbest degajată în atmosferă în timpul exploatării să nu depăşească anumite limite, dăunătoare sănătății.

Mica este o grupă de silicați de potasiu, magneziu, fier, care se găseşte în natură sub formă de muscovit, flogopit sau biotit, care se desfac prin lovire în foi subțiri şi elastice (clivaj). Mica este insolubilă în apă şi acizi, cu excepția acidului fluorhidric, dar solubilă în baze topite. Obiecte obținute prin injecție din polipropilena, poliamida sau poliesterii saturați pot fi armate cu granule de mica, având dimensiunea de 20-450 μm.

Silicea este dioxid de siliciu (SiO_2), care se găseşte în natură sub formă de nisip, diatomită, etc. Silicea este insolubilă în apă şi acizi, cu excepția acidului fluorhidric dar solubilă în baze topite. Nisipul cuarțos este format din granule cu dimensiunea de 0,6-1 mm şi este utilizat ca material de şarjare (uneori numai ca material de umplutură) la obținerea obiectelor din mase plastice.

Talcul este un silicat hidratat de magneziu ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$), aflat în natură sub diferite forme. Este moale, unsuros, flexibil, cu aspect sidefos. Ca orice silicat, talcul este insolubil în apă şi acizi, cu excepția acidului hidrofluoric, dar solubil în baze topite. Este utilizat ca material de şarjare (uneori numai ca material de umplutură) la obținerea obiectelor din mase plastice.

Materialele stabilizante la acțiunea oxigenului, numite şi antioxidante, întârzie degradarea materialelor plastice cauzată de oxidare.

Cele mai utilizate materiale antioxidante sunt următoarele:

-fenolii;

-aminele;

-mercaptanii.

Materialele stabilizante la acțiunea căldurii, numite şi stabilizanți termici, sunt utilizate în cazul polimerilor clorurați în vederea întârzierii degajării acidului clorhidric. Dintre stabilizanții termici cei mai utilizați sunt amestecurile de stearați de calciu şi de zinc.

Materialele stabilizante la acțiunea luminii absorb lumina, întârziind astfel degradarea materialelor plastice.

Cele mai utilizate materiale stabilizante la acțiunea luminii sunt următoarele:

-pigmenții (negrul de fum etc.);

-absorbanții de raze ultraviolete (salicilatul de fenil etc.).

Coloranții asigură o culoare dorită masei plastice. O clasificare posibilă a coloranților este următoarea:

-solubili în matricea polimerului (plastosolubili):

-coloranți antrachinonici;

- coloranți azoici;

-insolubili în matricea polimerului (plastoinsolubili sau pigmenți):

-pigmenți negri: negrul de fum;

-pigmenți roşii: oxidul de fier;

-pigmenți.galbeni: oxidul de zinc;

-pigmenți albaştri: aluminatul de cobalt;

-pigmenți albi: dioxidul de titan.

Materialele ignifuge au rolul de a frâna amorsarea sau propagarea arderii. Cele mai importante materiale ignifuge sunt următoarele:

-derivați halogenați: percloropentaciclodecanul;
-hidratați: alumină hidratată.

Materialele antistatice limitează acumularea sarcinilor electrice pe suprafața polimerilor, evitându-se, astfel, fixarea prafului sau producerea scânteielor. Aceste materiale pot acționa în două moduri:

-realizarea unui strat foarte fin pe suprafață din substanțe care nu se încarcă cu electricitate statică (etanolamina);
-încorporarea unui material care măreşte conductivitatea materialului plastic (negrul de fum).

Lubrifianții favorizează realizarea prelucrărilor care presupun frecarea maselor plastice de pereții instalației respective (injecție etc.). Un exemplu de lubrifiant al maselor plastice este ceara de polietilena.

IX.5. Îmbătrânirea

Îmbătrânirea maselor plastice poate fi:

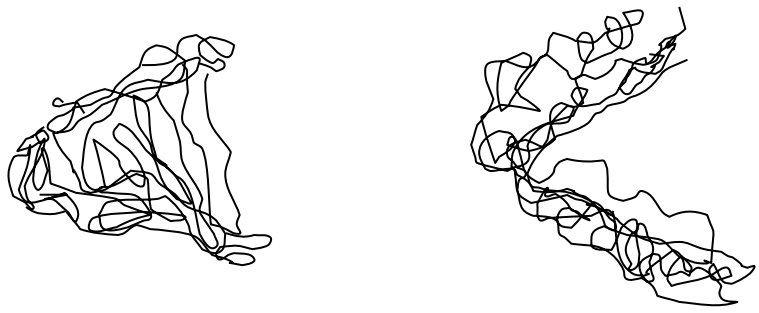
-îmbătrânirea fizică;
-îmbătrânirea termică;
-îmbătrânirea climaterică.

Îmbătrânirea fizică a maselor plastice cuprinde toate modificările fizice ireversibile care pot apare în timp la temperatura ambiantă şi în condiţii climaterice normale.

Aceste modificări pot fi:

-cu transfer de masă:
  -la pătrunderea solvenţilor:
    -plastifierea;
    -fisura neaparentă (craze);
    -fisura aparentă (crack);
    -umflarea:
      -uniformă;
      -neuniformă;
  -la dispariţia plastifianţilor:
    -fragilizarea;
-fără transfer de masă:
  -cristalizarea parţială a zonelor amorfe;
  -fisurarea sub tensiune mecanică.

Pătrunderea solvenţilor (apa etc.) poate distruge local legăturile care există în macromolecule. Un prim efect al pătrunderii solvenţilor este plastifierea. Fisura neaparentă (craze) este plină cu material orientat, deoarece legăturile s-au rupt parţial, motiv pentru care este mai greu detectabilă (Fig.169.a). În cazul fisurii aparente (crack), legăturile din macromolecule sunt rupte în totalitate pe o anumită zonă (Fig. 169.b).



a b

Fig. 169
Fisuri ca urmare a pătrunderii unui solvent:
a-fisură neaparentă (craze); b-fisură aparentă (crack).

Umflarea este o altă consecinţă a pătrunderii unui solvent. Deosebit de periculoasă este umflarea neuniformă, care poate induce tensiuni interne dezastruoase.

Fragilizarea maselor plastice este datorată dispariţiei plastifianţilor ca urmare a evaporării, biodegradării etc.

Cristalizarea parţială a zonelor amorfe din masele plastice poate apare datorită unei mobilităţi a unui segment din lanţ

Fisurarea sub tensiune mecanică apare în timp şi determină durata de viaţă a masei plastice respective.

Îmbătrânirea termică a maselor plastice cuprinde toate modificările ireversibile care pot apare în timp la încălzire şi în condiţii climaterice normale.

La încălzirea maselor plastice se suprapun fenomenele fizice menţionate anterior cât şi fenomene chimice, datorate în special acţiunii oxigenului.

La o durată de viaţă convenţională de 20000 ore, temperatura maximă de încălzire pentru diferiţi polimeri este variabilă (Tabelul 39).

Tabelul 39

Polimerul	Temperatura maximă de încălzire ^{o}C
> PA11 <	50
> ABS <	70
> POM <	80
> PETP <	100
> PC <	110
> PS <	150
> PI <	210

Îmbătrânirea climaterică este datorată factorilor climaterici, printre care mai importanţi sunt:

-lumina solară (UV);

-temperatura;

-ploaia.

Lumina solară conţine 2-7 % raze ultraviolete (UV), care au o energie suficient de mare pentru a excita anumite grupări din polimer, astfel că oxidarea superficială este accelerată, provocând ruperi de legături şi fisurări.

Temperatura ridicată accelerează puternic oxidarea atât superficială cât şi în masa obiectului din material plastic, aţa cum s-a menţionat la îmbătrânirea termică.

Ploaia poate spăla plastifianţii, coloranţii sau alte materiale de adaos, provocând modificări corespunztoare.

IX.6. Degradarea termică

Degradarea termică cuprinde totalitatea fenomenelor apărute în termen scurt, ca urmare a încălzirii la temperaturi ridicate în timpul obținerii formei sau exploatării. Degradarea termică este însoțită de degajarea de mici particule volatile.

Pe parcursul degradării termice pot apare următoarele reacții importante:

-ruperea statistică a lanțurilor (Fig.170);

-depolimerizarea;

-modificarea grupărilor laterale (Fig.171).

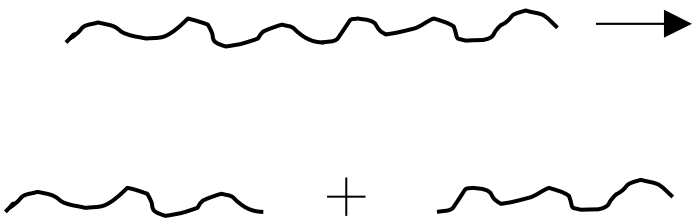


Fig.170
Ruperea statistică a lanțurilor

Depolimerizarea poate fi descrisă de relația următoare:

$$\sim(A)_n-A^o \longrightarrow \sim(A)_{n-1}-A^o + A \qquad (113)$$

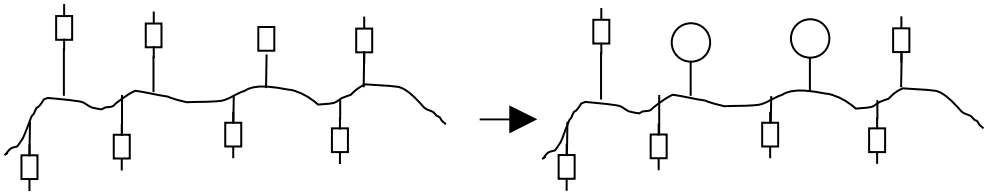


Fig.171
Modificarea grupărilor laterale

Un polimer este cu atât mai stabil cu cât conține mai puține legături C-Cl sau C-H (alifatice) ori C-C (alifatice) şi mai multe legături C-F sau aromatice.

Durata de viață a polimerilor se scurtează cu jumătate printr-o menținere timp de 30’ la anumite temperaturi (Tabelul 40).

Tabelul 40

Polimerul	Temperatura de menținere timp de 30’ ^{o}C
> PVC <	260
> PMMA <	330
> PS <	360
> PAN <	390
> PE <	470
> PI <	500

Arderea este faza avansată a degradării termice când datorită temperaturii ridicate, materialul ia foc şi au loc reacții exoterme.

Produsele arderii au diferite proprietăți, în funcție de polemerul respectiv, dintre care deosebit de importante sunt corozivitatea şi toxicitatea.

Arderea are loc prin amorsare, urmată de propagare. Anumite materiale, chiar dacă au suferit o amorsare a arderii, nu permit propagarea acesteia, fiind numite materiale autoextinctibile .

IX.7. Exemple de mase plastice

IX.7.1. Poliolefinele

Principalele poliolefine sunt următoarele:

-polietilena > PE <;
-polipropilena > PP <;
-poliizobutilena > PIB <;
-polimetilpentena > PMP <.

Polietilena este un polimer al etilenei (Fig. 172), având masa moleculară de:
-peste 6000, în cazul polietilenei de înaltă densitate > PE-HD <;
-2000-5000, în cazul polietilenei de joasă densitate > PE-LD <;
-2500000, în cazul polietilenei de foarte mare masă moleculară
> PE-UHMW <.

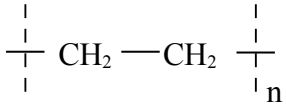


Fig. 172
Polietilena > PE <

Polietilena de înaltă densitate este termoplastică, de culoare albă, netoxică, cu o mare capacitate de absorbție a neutronilor, rezistentă la acțiunea apei, combustibilă. Alte proprietăți importante sunt următoarele:

-densitatea: > 0,935 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 30-35 MPa;
-alungirea la rupere: 700-1000 %;
-rezilienţa: 0,060-0,200 J / mm^2;
-duritatea Shore D: 66;
-conductivitatea termică: 0,45-0,50 W / mK;
-deformabilitate satisfăcătoare pentru obținerea formei prin injecție, suflare, calandrare;
-sudabilitate bună la cald;
-foarte dielectrică;
-mare inerție chimică;
-inerție chimică bună față de alimente;
-sensibilitate la acțiunea razelor ultraviolete;
-se lipeşte dificil;
-sensibilitate la fisurare sub sarcină.

Utilizările importante ale polietilenei de înaltă densitate sunt următoarele:

-recipiente pentru detergenţi;
-bidoane de lapte;
-gropi septice pentru deşeuri;
-palete pentru transportul mărfurilor;
-folii pentru ambalaje.

Polietilena de joasă densitate este de culoare albă, translucidă. Alte proprietăţi importante sunt următoarele:
-densitatea: 0,915 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 10-13 MPa;
-alungirea la rupere: 400-650 %;
-rezilienţa: 0,350-2000 J / mm^2;
-duritatea Shore D: 51;
-conductivitatea termică: 0,35 W / mK.
Utilizările importante ale polietilenei de joasă densitate su8nt următoarele:
-folii pentru ambalaje;
-recipiente menajere;
-izolaţia cablurilor;
-jucării;
-furtune.
Proprietăţile importante ale polietilenei de foarte mare masă moleculară sunt următoarele:
-densitatea: 0,935-0,950 g / cm^3;
-alungirea la rupere: 200-500 %;
-duritatea Shore D: 60-70.
-rezistenţă mecanică excelentă.
-deformabilitate dificilă, motiv pentru care este preferată prelucrarea prin aşchiere.
Utilizările importante ale polietilenei de foarte mare masă moleculară sunt următoarele:
-piese mecanice: lagăre, şuruburi, roţi dinţate;
-implanturi chirurgicale.
Polipropilena este un polimer alb tranclucid, cu masa moleculară mai mare de 40000 (Fig.173).

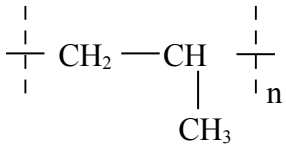


Fig. 173
Polipropilena > PP <

Alte proprietăţi importante sunt următoarele:
-densitatea: 0,90-0,91 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 20-40 MPa;
-alungirea la rupere: 150-600 %;
-duritatea Shore D: 70.

-rezistență mecanică mai bună decât polietilena.
-deformabilitate mai dificilă dificilă decât polietilena.
Utilizările importante ale polipropilenei sunt următoarele:
-fire împletite pentru plase pescăreşti;
-obiecte de uz casnic;
-aparatură de laborator.

Poliizobutilena este un polimer cu masă moleculară variabilă în func'ie de gradul de polimerizare, care poate avea valori de la 10 la 1000 (Fig. 174).

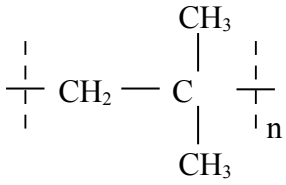


Fig. 174
Poliizobutilena > PIB <

Utilizările importante ale poliizobutilenei sunt următoarele:
-benzi de etanşare;
-izolația cablurilor;
-material de adaos în uleiuri lubrifiante.

Polimetilpentena (Fig. 175) este un polimer deosebit de rezistent la atacul chimic şi la căldură, cu o transparență remarcabilă, motiv pentru care este utilizat la obținerea aparaturii sanitare şi a semafoarelor.

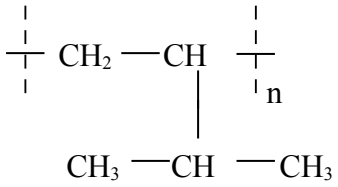


Fig. 175
Polimetilpentena > PMP <.

IX.7.2. Policlorura de vinil şi derivații / copolimerii săi

Policlorurile de vinil > PVC < sunt polimeri ai clorurii de vinil (Fig.176), care pot fi:

-suple;
-rigide.

Derivații / copolimerii lor principali sunt următorii:

-policlorura de vinil supraclorurată > PVCC <;
-policlorura de vinilidin > PVDD <;

-copolimerul clorură de vinil / propilenă > VC / P <.

Policlorura de vinil > PVC <, fiind o substanţă solidă, sub formă de pudră albă, nu poate fi utilizat decât după o gelificare, realizată prin adaos de plastifianţi. În acelaşi timp se adaugă şi stabilizanţi, lubrifianţi, agenţi antistatici, cretă, etc. În funcţie de cantitatea acestor materiale, policlorura de vinil poate deveni suplă sau rigidă.

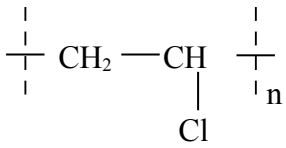


Fig. 176
Policlorura de vinil > PVC <

Proprietăţile importante ale policlorurii de vinil rigide sunt următoarele:
-densitatea: 1,38g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 50 MPa;
-alungirea la rupere: 10-50 %;
-rezilienţa: 0,50-2000 J / mm^2;
-duritatea Shore D: 70-84;
-conductivitatea termică: 0,16 W / mK;
-temperatura de tranziţie vitroasă: 75-105 ^oC;
-rigiditate bună până la 70 ^oC;
-bună stabilitate dimensională;
-rezistenţă bună la atacul chimic;
-inerţie chimică bună faţă de alimente;
-autoextinctibil.
-fragilitate mare la temperaturi joase;
-sensibilitate deosebită la razele ultraviolete.
Utilizările importante ale policlorurii de vinil rigide sunt următoarele:
-conducte de toate tipurile;
-izolaţia cablurilor;
-mochete;
-suprafaţa terenurilor de tenis;
-protecţia hârtiei şi a produselor textile.
Proprietăţile importante ale policlorurii de vinil suple sunt următoarele:
-densitatea: 1,3-1,7 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 10-20 MPa;
-alungirea la rupere: 200-500 %;
-duritatea Shore D: 20-40;
-conductivitatea termică: 0,16 W / mK;
-temperatura de tranziţie vitroasă: -40 ^oC;
-suplețe la temperaturi joase.
Utilizările importante ale policlorurii de vinil suple sunt următoarele:
-conducte pentru apă;

-şireturi;
-corzi.

Policlorura de vinil supraclorurată > PVCC < are un conţinut de clor mai mare cu 50 % mai mare decât cea obişnuită, care o face utilizabilă la temperaturi până la 100 ^{o}C.

Proprietăţile importante ale policlorurii de vinil rigide sunt următoarele:
-densitatea: 1,50-1,55 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 60 MPa;
-alungirea la rupere: 4,5 %;
-rezistenţă la temperaturi ridicate;
-rezilienţă scăzută.

Utilizările importante ale policlorurii de vinil rigide sunt următoarele:
-conducte pentru fluide calde;
-ambalaje pentru produse în curs de răcire.

Policlorura de vinilidin > PVDD < este un polimer al clorurii de vinilidin (Fig.177).

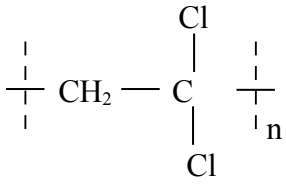


Fig. 177
Policlorura de vinilidin > PVDD <

Proprietăţile importante ale policlorurii de vinilidin sunt următoarele:
-densitatea: 1,65-1,70 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 21-35 MPa;
-alungirea la rupere: 200 %;
-mare inerţie chimică;
-inerţie chimică bună faţă de alimente.

Utilizările importante ale policlorurii de vinilidin sunt următoarele:
-containere pentru produse chimice;
-recipienţi pentru produse farmaceutice.

Copolimerul clorură de vinil / propilenă > VC / P < (Fig. 178) conţine 10-12 % propilenă.

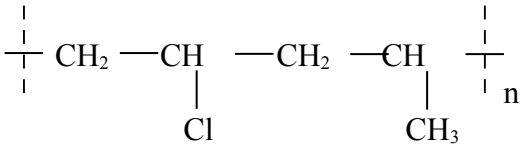


Fig. 178
Copolimerul clorură de vinil / propilenă > VC / P <

Proprietățile importante ale copolimerului clorură de vinil / propilenă sunt următoarele:
-densitatea: 1,30-1,40 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 35-40 MPa;
-alungirea la rupere: 100-140 %;
-mai uşor de prelucrat.

Utilizările importante ale copolimerului clorură de vinil / propilenă sunt următoarele:
-containere;
-jucării;
-echipamente medicale.

IX.7.3. Polistirenul şi copolimerii săi

Polistirenul > PS < este polimerul stirenului (Fig.179).

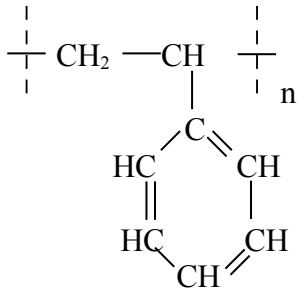


Fig. 179
Polistirenul > PS <

Copolimerii săi principali sunt:
-stiren / butadiena sau polistirenul şoc > SB <;
-stiren / acrilonitrilul > SAN <;
-acrilonitril / butadien / stirenul > ABS <.
Polistirenul poate fi:
-cristalin;
-expandat.
Proprietățile importante ale polistirenului cristalin sunt următoarele:
-densitatea: 1,04-1,05 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 41 MPa;
-alungirea la rupere: 4 %;
-rezilienţa: 180 Ncm / mm^2;
-bună stabilitate dimensională;
-inerție chimică bună față de alimente;
-transparent,
-conductivitate termică şi electrică foarte scăzută;
-coeficient de dilatare mic;
-rezistență scăzută la contactul cu benzine;
-se încarcă mult electrostatic;

-combustibil şi nu autoextinctibil.

Utilizările importante ale polistirenului cristalin sunt următoarele::

-ambalaje;

-jucării;

-vase pentru iaurt.

Proprietăţile importante ale polistirenului expandat sunt următoarele:

-densitatea: 0,02-0,06 g / cm^3;

-rezistenţa la rupere:0,15-0,4 MPa;

-conductivitate termică şi electrică foarte scăzută;

-uşor de lipit;

-rigiditate mică;

-inflamabil.

Utilizările importante ale polistirenului expandat sunt următoarele:

-ambalaje pentru obiecte fragile;

-ambalaje după forma obiectelor;

-material de umplutură în pereţii containerelor;

-panouri izolante în construcţii.

Copolimerul stiren / butadiena sau polistirenul şoc > SB < se deosebeşte de cauciucul butadien stirenic (SBR) deoarece conţine mult mai mai puţină butadienă.

Proprietăţile importante ale polistirenului şoc sunt următoarele:

-densitatea: 1,04 g / cm^3;

-rezistenţa la rupere: 27 MPa;

-alungirea la rupere: 35-40 %;

-rezilienţă mai bună decât polistirenul cristalin;

-sudabilitate scăzută;

-opac.

Utilizările importante ale polistirenului şoc sunt următoarele:

-mobilă;

-peretele interior al uşii frigiderelor.

Copolimerul stiren / acrilonitrilul > SAN < prezintă avantajele stirenului şi ale acrilonitrilului. Asfel, proprietăţile importante ale copolimerului stiren / acrilonitril sunt următoarele:

-densitatea: 1,08 g / cm^3;

-rezistenţa la rupere: 70 MPa;

-alungirea la rupere: 5 %;

-rezilienţă bună;

-bună stabilitate dimensională;

-sudabilitate mai scăzută decât a polistrenului şoc.

Utilizările importante ale copolimerului stiren / acrilonitril sunt următoarele:

-carcasa telefoanelor;

-carcasa aparatelor electromenajere.

Acrilonitril / butadien / stirenul > ABS < este de fapt > SAN < cu butadienă bine dispersată. Proprietăţile importante ale copolimerului acrilonitril / butadien / stiren sunt următoarele:

-densitatea: 1,03-1,08 g / cm^3;

-rezistenţa la rupere: 40-60 MPa;

-alungirea la rupere: 20-60 %;
-rezilienţă bună între –40 şi 80 ^{o}C;
-bună stabilitate dimensională;
-poate fi cromat;
-opac;

-electrostatic.

Utilizările importante ale copolimerului acrilonitril / butadien / stiren sunt următoarele:
-mobilă;
-nave;
-surfuri;
-piese auto.

IX.7.4. Poliacrilicii şi copolimerii săi

Poliacrilicii importanţi sunt următorii:
-polimetilacrilatul de metil > PMMA <;
-poliacrilonitrilul > PAN <.
Copolimerii lor principali sunt:
-acrilonitril / metacrilat de metil > A / MMA <;
-stiren / acrilonitrilul > SAN <;
-acrilonitril / butadien / stirenul > ABS <.

Polimetilacrilatul de metil > PMMA < este polimerul metacrilatului de metil (Fig.180), cunoscut sub denumirea comercială de plexiglas.

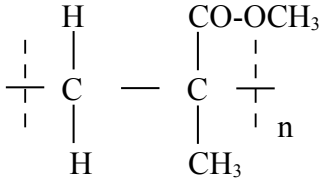


Fig.180
Polimetilacrilatul de metil > PMMA <

Proprietăţile importante ale polimetilacrilatul de metil sunt următoarele:
-densitatea: 1,18 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 60-70 MPa;
-alungirea la rupere: 4 %;
-transparenţă deosebită (absorbţia luminii de numai 50 % la o grosime de 3m);
-suprafaţă strălucitoare;
-insensibil la acţiunea razelor ultraviolete;
-se lipeşte uşor;
-se termoformează şi se toarnă uşor;
-casant;
-inerţie chimică mediocră.

Utilizările importante ale polimetilacrilatul de metil sunt următoarele:

-vitrine;
-hublouri;
-rigle, echere pentru desen;
-lentile pentru aparate foto;
-înglobarea diferitelor obiecte în vederea prezentării;
-lămpi de semnalizare auto;
-mobilă modernă.

Poliacrilonitrilul > PAN < este polimerul acrilonitrilului (Fig.181).

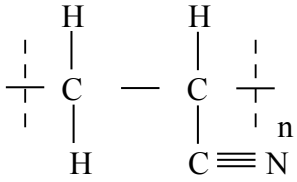


Fig.181
Poliacrilonitrilul >PAN<

Poliacrilonitrilul este utilizat în special sub formă de fibre textile, cunoscute în special sub denumirea comercială de acrilan sau orlon.

Copolimerul acrilonitril / metacrilat de metil >A / MMA< conține 70 % acrilonitril. Proprietățile importante ale copolimerului acrilonitril / metacrilat de metil sunt următoarele:

-densitatea: 1,17 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 85 MPa;
-alungirea la rupere: 60 %;
-inerție chimică mai bună decât cea a poliacrilonitrilului;
-transparență asemănătoare cu cea a poliacrilonitrilului.

Utilizările importante ale copolimerului acrilonitril / metacrilat de metil sunt următoarele:

-geamurile vehicolelor;
-carcase de protecție transparente.

IX.7.5. Polimerii fluorați

Primul polimer din această grupă a fost politetrafluoretilena > PTFE <, care este un polimer al tetrafluoretilenei (Fig. 182), cunoscut în special sub denumirea comercială de teflon.

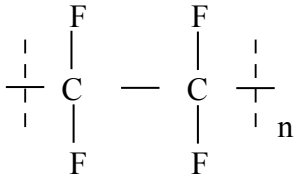


Fig.182
Politetrafluoretilena > PTFE <

Proprietățile importante ale politetrafluoretilenei sunt următoarele:
-densitatea: 2,14-2,18 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 20-40 MPa;
-alungirea la rupere: 250-500 %;
-rezilienţa IZOD: nu de rupe;
-duritatea Shore D: 55-59;
-inerție chimică deosebit de bună;

-rezistent la radiația nucleară;
-insensibil la acțiunea razelor ultraviolete;
-inerție chimică bună față de alimente;
-îşi menține proprietățile între –230 şi 285 ^oC;
-dielectrică;
-coeficient de frecare scăzut;
-neinflamabil;
-se termoformează greu.
Utilizările importante ale politetrafluoretilenei sunt următoarele:
-garnituri de etanşare;
-izolarea cablurilor;
-rulmenți;
-cuzineți;
-aparatură de laborator;
-acoperiri antiaderente (tigăi, cratițe etc.).
Policlorotrifluoretilena >PCTFE< este un polimer al clorotrifluoretilenei (Fig. 183).

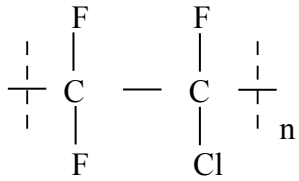


Fig.183
Policlorotrifluoretilena >PCTFE<

Proprietățile importante ale policlorotrifluoretilenei sunt următoarele:
-densitatea: 2,10-2,12 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 32-40 MPa;
-alungirea la rupere: 125-175 %;
-rezilienţa IZOD: 200 J / m;
-duritatea Shore D: 76-80;
-inerție chimică mai modestă decât a politetrafluoretilenei;
-mai puțin dielectrică decât politetrafluoretilena;
-se termoformează mai uşor decât politetrafluoretilena.
Policlorotrifluoretilena înlocuieşte în utilizările ei politetrafluoretilena acolo unde sunt necesare proprietăți mecanice superioare.
Polifluorura de viniliden >PVDF< este un polimer al fluorurii de viniliden (Fig. 183).

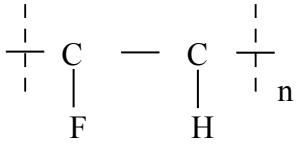


Fig.183
Polifluorura de viniliden >PVDF<

Proprietățile importante ale polifluorurii de viniliden sunt următoarele:
-densitatea: 1,76-1,78 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 40-50 MPa;
-alungirea la rupere: 50-300 %;
-rezilienţa IZOD: 100-200 J / m;
-duritatea Shore D: 77-82;
-mai insensibilă la acțiunea razelor ultraviolete decât policlorotrifluoretilena;
-se termoformează mai uşor decât politetrafluoretilena.

Utilizările importante ale polifluorurii de viniliden sunt următoarele:
-rezervoare, țevi, robineți în industria chimică;
-izolația cablurilor;
-acoperiri rezistente la intemperii (peste 30 ani).

Copolimerul etilenă / politetrafluoretilena >ETFE< are proprietățile mecanice şi chimice mai echilibrate:
-densitatea: 1,7 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 45 MPa;
-alungirea la rupere: 100-300 %;
-inerție chimică mai modestă decât a politetrafluoretilenei;
-rezistență mai bună la îndoiri alternante;
-se termoformează mai uşor decât politetrafluoretilena.

Utilizările importante ale copolimerului etilenă / politetrafluoretilena sunt următoarele:
-angrenaje;
-racorduri;
-elemente componente ale pompelor şi robineților.

IX.7.6. Polioximetilenele

Polioximetilenele >POM< sunt polimeri ai formaldehidei (Fig.184) sau copolimeri ai formaldehidei cu grupări oxialchilice, având cel puțin o legătură C-C. Polioximetilenele mai sunt numite şi poliacetali.

Proprietățile importante ale polioximetilenei sunt următoarele:
-densitatea: 1,41 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 70-53 MPa;
-alungirea la rupere: 60-70 %;
-stabilitate dimensională;
-rezistent la oboseală;
-insensibil la acțiunea uleiurilor de ungere;
-sensibil la acțiunea acizilor oxidanți şi a bazelor tari;
-sensibil la acțiunea razelor ultraviolete;

Utilizările importante ale polioximetilenei sunt următoarele:
-arcuri;
-angrenaje;
-şuruburi;
-came;
-carcasele aparatelor electromenajere;
-elemente componente ale pompelor şi robineților.

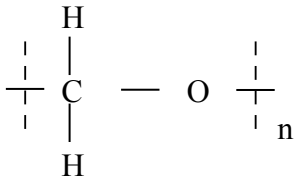


Fig.184
Polioximetilena >POM<

IX.7.7. Poliamidele

Poliamidele, numite generic nailon, sunt caracterizate de prezența grupului amidic (−NH−CO−), dintre care se disting următoarele:
-poliamida >PA 6< (Fig. 185), polimerul ε - caprolactamei;
-poliamida >PA 66< (Fig. 186), polimerul hexametilendiaminei cu acid adipic;
-poliamida >PA 610< (Fig. 187), polimerul hexametilendiaminei cu acid sebacic;
-poliamida >PA 11< (Fig. 188), polimerul acidului amino-11 undecanoic;
-poliamida >PA 12< (Fig. 189), polimerul dodecanolactamei-1,12 >;
-copolimerul dintre polimerul hexametilendiaminei cu acid adipic şi cu polimerul hexametilendiaminei cu acid sebacic >PA 66 / 610<;
-copolimerul dintre polimerul ε – caprolactamei şi cu polimerul dodecanolactamei-1,12 >PA 6 / 12<.

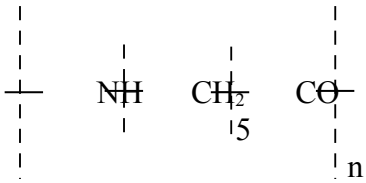


Fig. 185
Poliamida >PA 6<

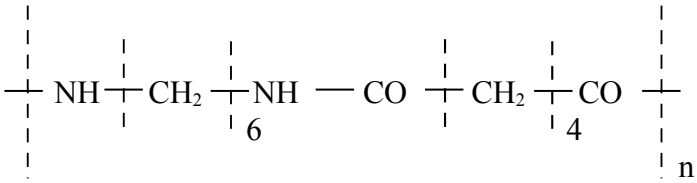


Fig. 186
Poliamida >PA 66<

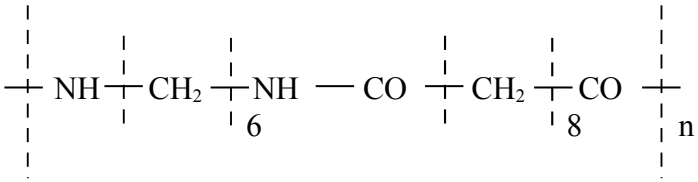


Fig. 187
Poliamida >PA 610<

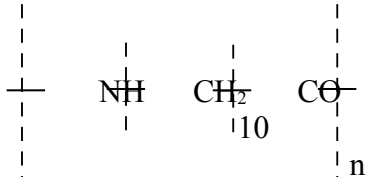


Fig. 188
Poliamida >PA 11<

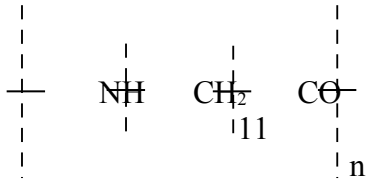


Fig. 189
Poliamida >PA 12<

Proprietățile principale ale poliamidelor sunt următoarele:
-densitatea: 1,04-1,17 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 65-170 MPa;
-alungirea la rupere: 5-350 %;
-translucide la grosimi mici şi opace la grosimi mari;
-sensibile la umiditatea atmosferică;
-rezistente la oboseală;
-insensibile la acțiunea uleiurilor de ungere;
-sensibile la acțiunea acizilor oxidanți la temperaturi ridicate;
-sensibile la acțiunea apei fierte foarte oxigenate;
-autoextinctibile.
Utilizările principale ale poliamidelor sunt următoarele:
-ciocane;
-tălpi de încălțăminte;
-țevi şi rezervoare pentru lichide de frână;
-carcasele aparatelor electromenajere.

IX.7.8. Poliesterii saturați

Poliesterii saturați sunt următorii:
-politereftalat de etil >PETP< (Fig. 190);
-polibutilen tereftalat >PBTP< (Fig. 191).

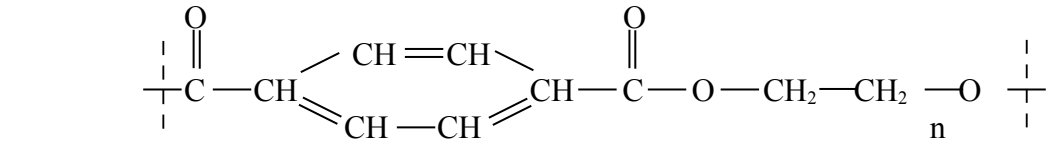


Fig.190
Politereftalat de etil >PETP<

Politereftalat de etil, cunoscut şi sub denumirea comercială de terilen, tergal sau dacron, are următoarele proprietăți:

-densitate: 1,30-1,39 g / cm^3;
-transparent în stare amorfă şi opac în stare cristalină;
-inerție chimică satisfăcătoare;
-autoextinctibil.

Utilizările principale ale politereftalatului de etil sunt următoarele:

-sticle de apă minerală;
-fibre pentru îmbrăcăminte wash-and-wear;
-foli de ambalaj.

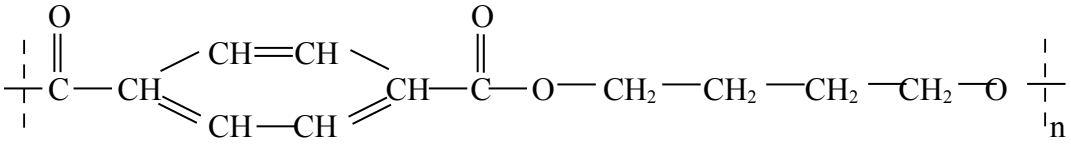


Fig.191
Polibutilen tereftalat >PBTP<

Polibutilen tereftalatul are următoarele proprietăți principale:

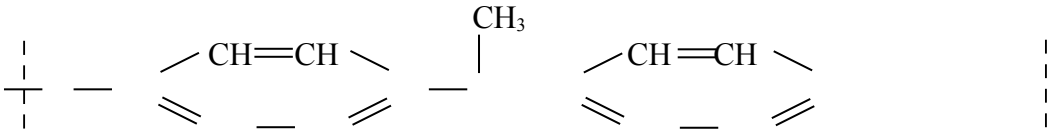
-densitate: 1,31 g / cm^3;
-inerție chimică slabă la temperatui mai mari de 60°C;
-dielectric;
-autoextinctibil.

Utilizările principale ale polibutilen tereftalatulului sunt următoarele:

-izolarea cablurilor;
-carcasele uscătoarelor de păr;
-carcasele întrerupătoarelor electrice;
-carcasele cafetierelor;
-carcasele prăjitoarelor de pâine;
-angrenaje.

IX.7.9. Policarbonații

Policarbonații >PC< sunt polimeri ai esterului acidului carbonic (Fig. 92).



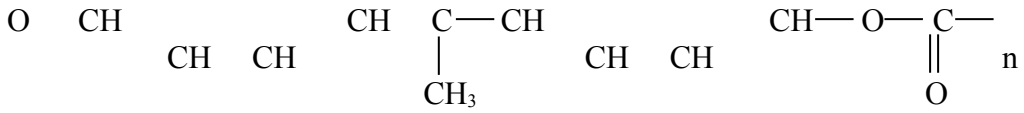
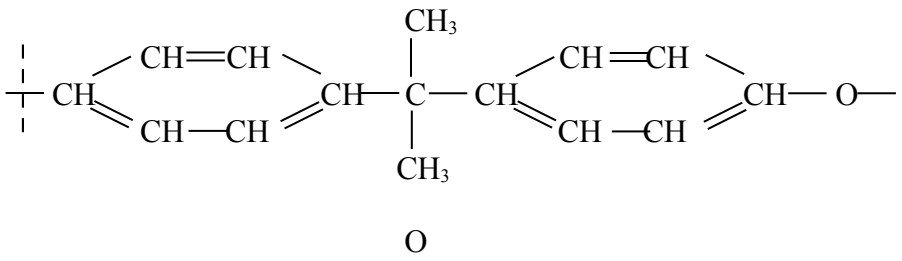


Fig.192
Policarbonat >PC<

Proprietățile principale ale policarbonaților sunt următoarele:
-densitate: 1,20-1,24 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 67 MPa;
-alungirea la rupere: >110 %;
-reziliența IZOD: 640 J / m;
-duritatea Shore D: 83-84;
-transparență foarte bună;
-sensibilitate la menținerea prelungită în apă cu temperatura mai mare de 60 ^oC;
-permeabilitate la gaze ca hidrogen, dioxid de carbon, hidrogen sulfurat;
-insolubil în hidrocarburi alifatice, alcooli;
-solubilitate parțială în hidrocarburi aromatice şi totală în hidrocarburi halogenate;
-atacat de baze puternice;
-inerție chimică satisfăcătoare față de alimente;
-dielectrici.
Utlizările principale ale policarbonaților sunt următoarele:
-geamuri incasabile;
-iluminatul stradal;
-țevi;
-produse turnate;
-folii.

IX.7.10. Polimerii sulfonici

Polimerii sulfonici sunt următorii: :
-polisulfonă >PSU< (Fig. 193);
-polietersulfonă >PESU< (Fig. 194);
-polifenilensulfonă >PPSU< (Fig. 195).
Ei se deosebesc în principal prin temperatura maximă de lucru:
-150 ^oC pentru polisulfonă;
-175 ^oC pentru polietersulfonă;
-200 ^oC pentru polifenilensulfonă.



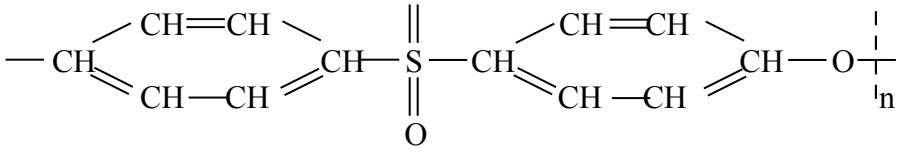


Fig.193
Polisulfonă >PSU<

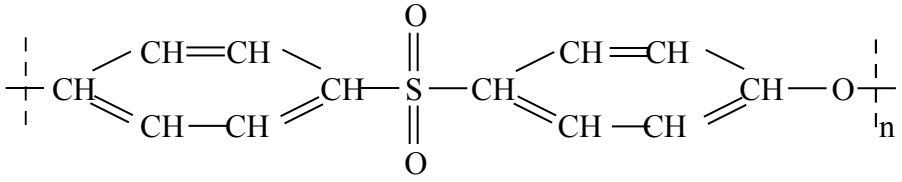


Fig.194
Polietersulfonă >PESU<

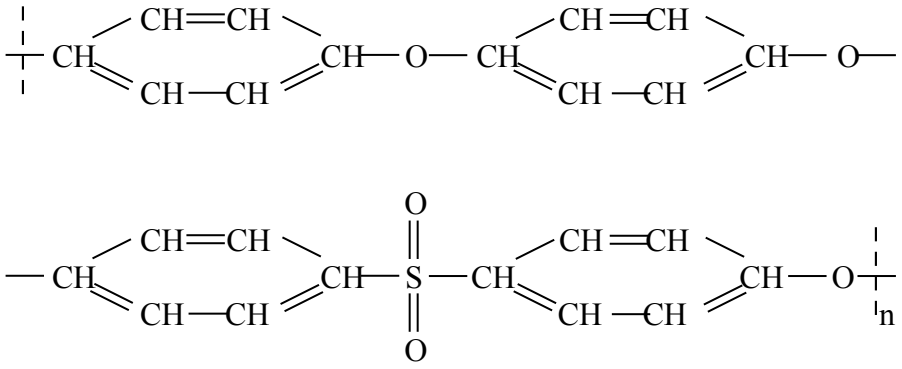


Fig.195
Polifenilsulfonă >PPSU<

Proprietățile principale ale polimerilor sulfonici sunt următoarele:
-densitate: 1,24-1,37 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 70-84 MPa;
-alungirea la rupere: 40-100 %;
-transparență bună, cu nuanță uşor galbenă;
-sensibilitate la hidrocarburi clorurate sau aromatice;
-inerție la acizi, baze, alcooli, uleiuri;
-solubilitate parțială în hidrocarburi aromatice şi totală în hidrocarburi halogenate;
-inerție chimică satisfăcătoare față de alimente;
-rezistență bună la acțiunea razelor X, beta şi gama;
-dielectrici şi la temperaturi ridicate;
-stabilitate dimensională până la 200 ^oC;
-se umflă 0,15 % în prezența umidității şi 0,3 % în prezența apei fierte.

-sensibilitate la acțiunea razelor ultraviolete.
Utlizările principale ale polimerilor sulfonici sunt următoarele:
-carcasele aparatelor electromenagere care lucrează la temperaturi de până la 200 °C;
-aparatură sterilizabilă;
-întrerupători electrici;
-viziere.

IX.7.11. Polisulfura de fenilen

Polisulfura de fenilen >PPS< (Fig. 196) este un polimer al sulfurii de fenilen.

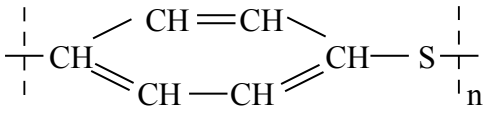
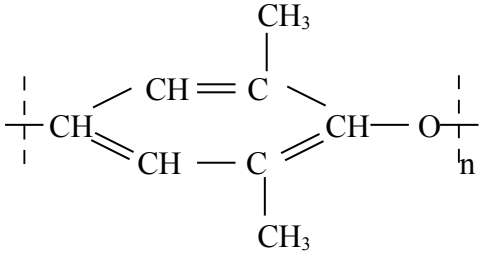


Fig.196
Polisulfura de fenilen >PPS<

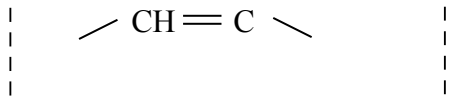
Proprietățile principale ale polisulfurii de fenilen sunt următoarele:
-densitate: 1,6 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 135 MPa;
-alungirea la rupere: 1,3 %;
-culoare gri deschis;
-sensibilitate la acizii tari, amine, hidrocarburi clorurate la cald;
-inerție la solvanți;
-dielectrică şi la temperaturi ridicate;
-autoextintibilă.
Utlizările principale ale polisulfurii de fenilen sunt următoarele:
-întrerupători electrici;
-suporții lămpilor;
-piese de carburator.

IX.7.12. Polifenilen oxidul

Polifenilen oxidul >PPO< este polimerul unui monomer fenolic (Fig.197).



sau



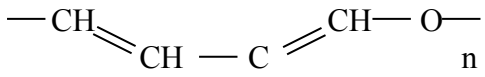


Fig.197
Polifenilen oxidul >PPO<

Proprietățile principale ale polifenilen oxidului sunt următoarele:
-densitate: 1,07 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 55 MPa;
-alungirea la rupere: 50 %;
-inerție chimică la hidroliza la rece şi la cald;
-sensibilitate la hidrocarburi halogenate şi aromatice;
-stabilitate dimensională până la 180 ^oC;
-autoextintibil.
Utlizările principale ale polifenilen oxidului sunt următoarele:
-bord auto;
-cutie de borne;
-izolația cablurilor.

IX.7.13. Derivații celulozei

Derivații principali ai celulozei sunt:
-nitrații de celuloză >CN<, care pot fi mononitrați (Fig.198), dinitrați sau trinitrați;
-acetații de celuloză >CA<, care pot fi monoacetați (Fig.199), diacetați sau triacetați;
-propionații de celuloză >CP<, care pot fi monopropionați (Fig.200), dipropionați sau tripropionați.

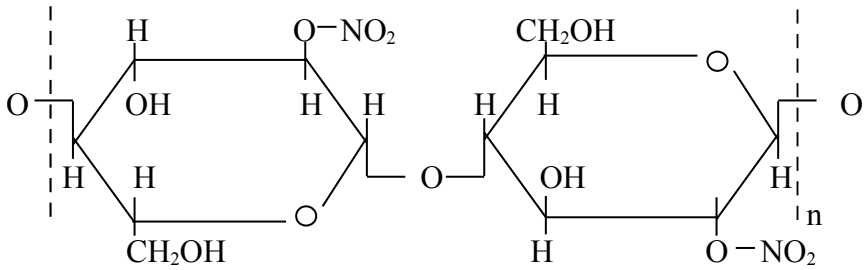
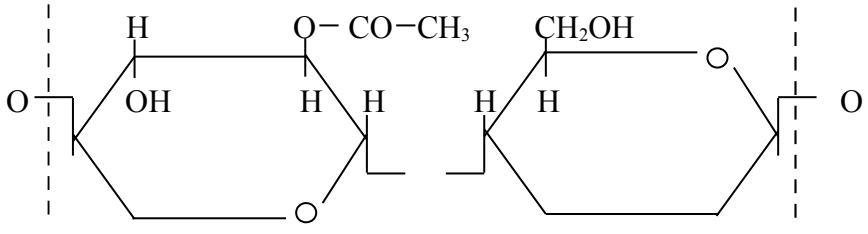


Fig.198
Mononitratul de celuloză



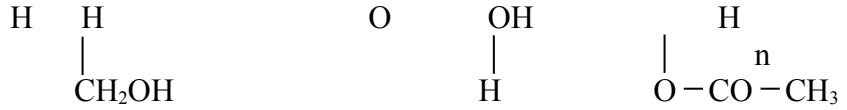


Fig.199
Monoacetatul de celuloză

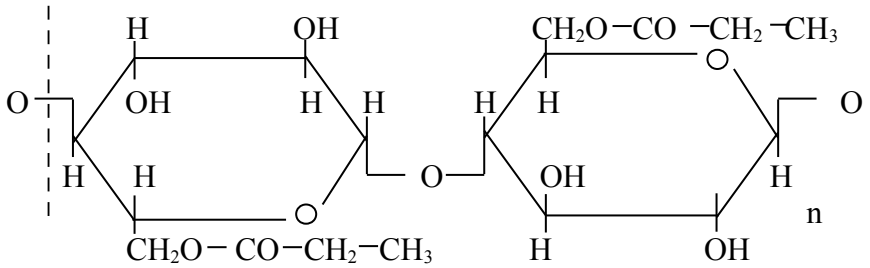


Fig.200
Monopropionatul de celuloză

Nitrații de celuloză >CN<, cunoscuți şi sub denumirea comercială de celuloid, prezintă un risc de explozie deosebit de mare, motiv pentru care utilizările principale sunt legate de producerea explozivilor.

Acetații de celuloză >CA< sunt polimeri care rezultă din esterificarea cu acid acetic a grupărilor hidroxilice ale celulozei, rezultând monoacetat, diacetat sau triacetat.

Acetații de celuloză (mono- şi di-) au următoarele proprietăți principale:

-densitatea: 1,27-1,34 g / cm^3;

-solubili în acetonă, acetat de etil, ciclohexanol;

-instabilitate dimensională apreciabilă la variații mari de temperatură şi la umezeală;

-prelucrabilitate uşoară prin toate procedeele;

-atingere agreabilă.

Utilizările principale ale acetaților (mono- şi di-) de celuloză sunt următoarele:

-folii transparente;

-filme fotografice;

-stilouri;

-filtre de țigarete;

-mânerul sculelor de mână;

-membrane osmotice.

Triacetatul de celuloză are următoarele proprietăți, care îl deosebesc de acetatul de celuloză:

-densitatea: 1,2 g / cm^3;

-insolubil în acetonă;

-solubil în clorură de metilen.

Triacetatul de celuloză este utilizat în special la producerea fibrelor textile.

Propionații de celuloză >CP< au următoarele proprietăți principale:
-densitatea: 1,17 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 17-50 MPa;
-alungirea la rupere: 45-60 %;
-bună stabilitate dimensională;
-necesită o cantitate mică de plastifianți.

Utilizările principale ale propionaților de celuloză sunt următoarele:
-ambalaje transparente;
-inele decorative;
-stilouri.
-filme fotografice.

IX.7.14. Răşinile poliepoxidice

Răşinile poliepoxidice >EP< conțin grupare epoxidică CH_2—CH— (O) (Fig.201) care, în prezența unor substanțe cu hidrogen mobil, se deschide şi devine —CH_2—CH(OH)—.

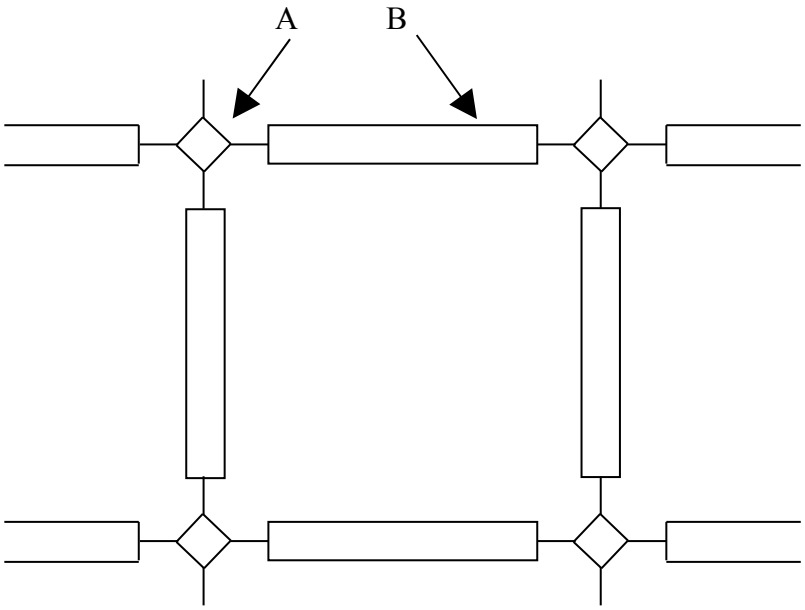


Fig.201
Răşinile poliepoxidice >EP<
A-întăritor; B-polimer la capetele căruia se găseşte câte o grupare epoxidică.

Gruparea epoxidică se găseşte la capetele unui polimer care în 85 % din cazuri este obținut din epiclorhidrină şi bisfenol A (Fig.202).

Întăritorii pot fi amine alifatice la temperaturi joase şi amine aromatice la temperaturi înalte. Reacția de reticulare poate fi catalizată de substanțe cum sunt $SnCl_4$ şi BF_3. La temperaturi joase se utilizează acceleratori de reacție, care cedează uşor un hidrogen, cum sunt alcoolii, fenolii, acizii.

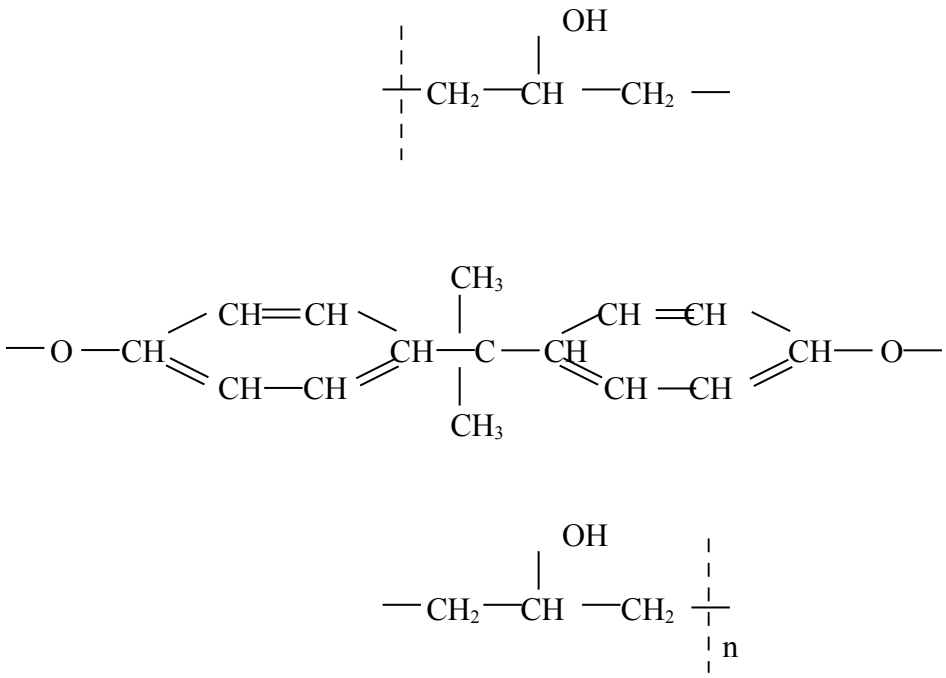


Fig.202
Polimer la capetele căruia se găseşte câte o grupare epoxidică
obținut din epiclorhidrină şi bisfenol A

Proprietățile principale ale răşinilor poliepoxidice sunt următoarele:
-densitatea: 1,10-1,50 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 15-70 MPa;
-alungirea la rupere: 3-5 %;
-inerție chimică bună;
-durată mare de reticulare;
-toxic în stare nereticulată;
-stabilitate dimensională;
-autoextinctibile;
-aderență chimică pe orice suport;
-necesită agent de demulare;
-dielectrice.
Utilizările principale ale răşinilor poliepoxidice sunt următoarele:
-acoperiri ale rezervoarelor de gaz;

-adeziv pentru sticlă, materiale compozite, ceramice;
-modele şi cutii de miez pentru turnătorie;
-matrițe de ambutisare;
-mortare;
-asfalturi;
-încapsularea elementelor electrotehnice.

IX.7.14. Poliimidele

Poliimidele >PI< pot fi obținute prin adiție sau prin condensare şi au unitatea structurală de bază $[-N(CO)_2C_6H_2(CO)_2NC_6H_4O\ C_6H_4\ -]_n$ (Fig.203).

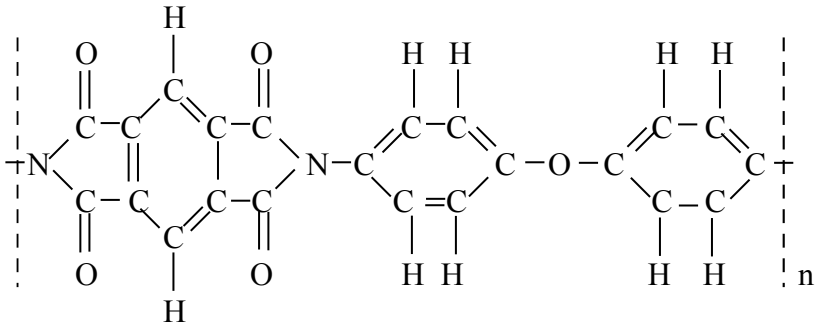


Fig.203
Poliimida >PI<

Proprietățile principale ale poliimidelor sunt următoarele:
-densitatea: 1,42 g / cm^3;
-rezistența la rupere: 35 MPa;
-alungirea la rupere: 1 %;
-inerție chimică față de uleiuri, grăsimi;
-atacat de baze;
-stabilitate dimensională de la –50 la 250 °C;
-stabilitatea proprietăților mecanice timp de mii de ore la temperatura de 250 °C;
-autoextinctibile;
-dielectrice.
Utilizările principale ale poliimidelor sunt următoarele:
-circuite imprimate;
-angrenaje;
-lagăre;
-palete de pompe;
-piese supuse la frecare de mare viteză (calculatoare).

IX.7.15. Siliconii

Siliconii >SI< sunt un grup mare de polimeri cu o structură bazată pe atomi alternanți de siliciu şi oxigen, de atomii de siliciu fiind ataşaţi diferiți radicali (Fig.204).De fapt, datorită legăturii dintre siliciu şi oxigen, siliconii sunt polisiloxani. De exemplu, dacă radicalul este metil, atunci siliconul se numeşte polimetilsiloxan.

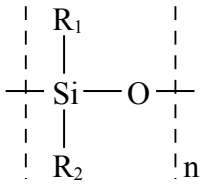


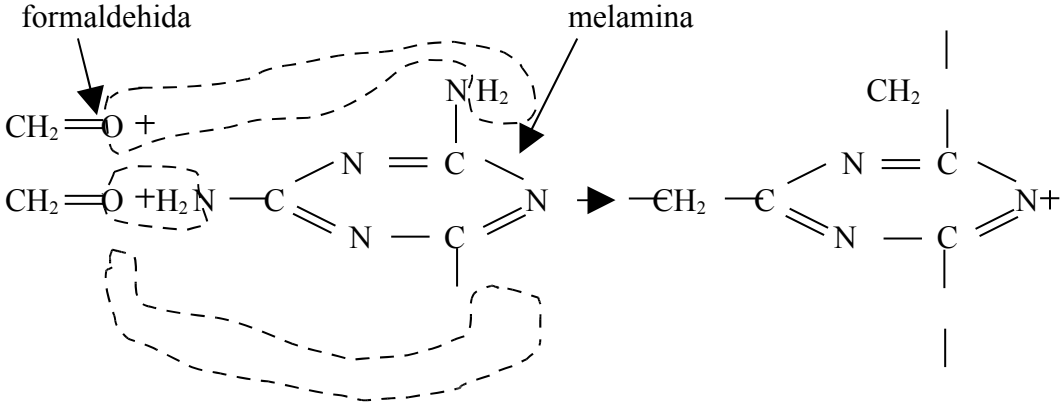
Fig.204
Polisiloxan >PI<

Siliconii pot fi:
-uleiuri reactive sau nereactive;
-elastomeri;
-lichide păstoase;
-răşini.
Polimetilsiloxanul este un ulei nereactiv şi are următoarele proprietăți principale:
-stabilitate termică;
-inerție chimică;
-dielectric;
-hidrofug.
Utilizările principale ale polimetilsiloxanului sunt următoarele:
-agent antiaderent;
-fluid hidraulic;
-fluid de sterilizare;
-fluid de încălzire.

IX.7.17. Aminoplastele

Aminoplastele pot fi:
-răşina ureo-formaldehidică >UF<;
-răşina melamino-formaldehidică >MF<.

La încălzire, formaldehida (prepolimerul) este reticulată de către uree (întăritorul), în cazul răşinii ureo-formaldehidică >UF<, sau de către melamină (întăritorul), în cazul răşinii melamino-formaldehidică >MF< (Fig. 205).



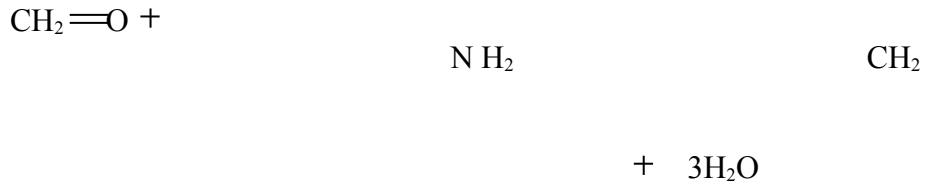


Fig.205

Reticularea răşinii melamino-formaldehidice >MF< prin reacţie de condensare

Apa rezultată din reacţia de reticulare trebuie să fie eliminată. De cele mai multe ori, aminoplastele sunt amestecate cu materiale de şarjare sau de armare, ca de exemplu:

-aşchii de lemn, pentru reducerea preţului;
-celuloză, pentru stabilitatea dimensională;
-mică, pentru dielectricitate;
-azbest, pentru rezistenţă la foc;
-fibră de sticlă, pentru rezistenţa mecanică.

Proprietăţile principale ale răşinii ureo-formaldehidice amestecate cu celuloză sunt următoarele:

-densitatea: 1,5 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 40-80 MPa;
-alungirea la rupere: 0,5-1 %;
-transparentă;
-duritate mare;
-sensibilitate la apa fierbinte;
-autoextinctibile;
-dielectrice.

Utilizările principale ale răşinii ureo-formaldehidice amestecate cu celuloză sunt următoarele:

-adeziv pentru plăci aglomerate din lemn;
-socluri;
-cozi de tigăi;
-socluri.

Proprietăţile principale ale răşinii melamino-formaldehidice amestecate cu fibră de sticlă sunt următoarele:

-densitatea: 1,75 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 40-80 MPa;
-alungirea la rupere: 0,6 %;
-inerţie chimică mai mare decât a răşinii ureo-formaldehidice;
-inerţie faţă de alimente.

Utilizările principale ale răşinii melamino-formaldehidice amestecate cu fibră de sticlă sunt următoarele:

-adeziv insensibil la umiditate;
-veselă de camping;
-carcase pentru aparate electromenajere.

IX.7.18. Poliesterii nesaturaţi

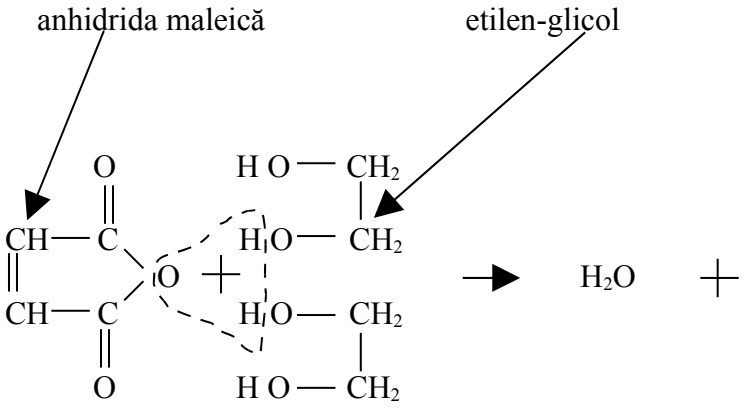
Prepolimerul poliesterilor nesaturați >UP< rezultă din policondensarea unei anhidride nesaturate (de exemplu, anhidridă maleică) cu un dialcool (de exemplu, etilen-glicolul) (Fig. 206).

Ulterior, poliesterul nesaturat (prepolimerul) este reticulat de diverşi monomeri care conțin o nesaturare etilenică (întăritorul, de exemplu, stirenul) (Fig. 207).

Condițiile de reticulare pot fi:

-catalizator + căldură;

-catalizator + accelerator.



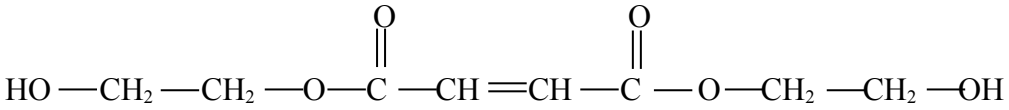


Fig. 206
Obținerea prepolimerului nesaturat prin reacția de condensare dintre anhidrida maleică şi etilen-glicol

Catalizatorii dau naştere la radicali liberi care provoacă reacția de polimerizare.

Acceleratorii permit reacția de polimerizare la temperatura ambiantă.

Mai întâi se amestecă acceleratorul cu răşina, după care se introduce catalizatorul. Amestecarea directă a catalizatorului cu acceleratorul este periculoasă, deoarece poate duce la o explozie.

De multe ori se utilizează drept catalizator metiletilacetona, iar drept accelerator, octoat de cobalt.

Proprietățile principale ale poliesterilor nesaturați sunt următoarele:

-densitatea: 1,23-1,29 g / cm^3;

-rezistența la rupere: 50-62 MPa;

-alungirea la rupere: 2-3 %;

-transparentă;
-inerţie chimică bună;
-sensibilitate la apa fierbinte;
-stabilitate dimensională;
-se prelucrează uşor.
Utilizările principale ale poliesterilor nesaturaţi sunt următoarele:
-iahturi;
-caroserii;
-încapsularea componentelor electrotehnice.

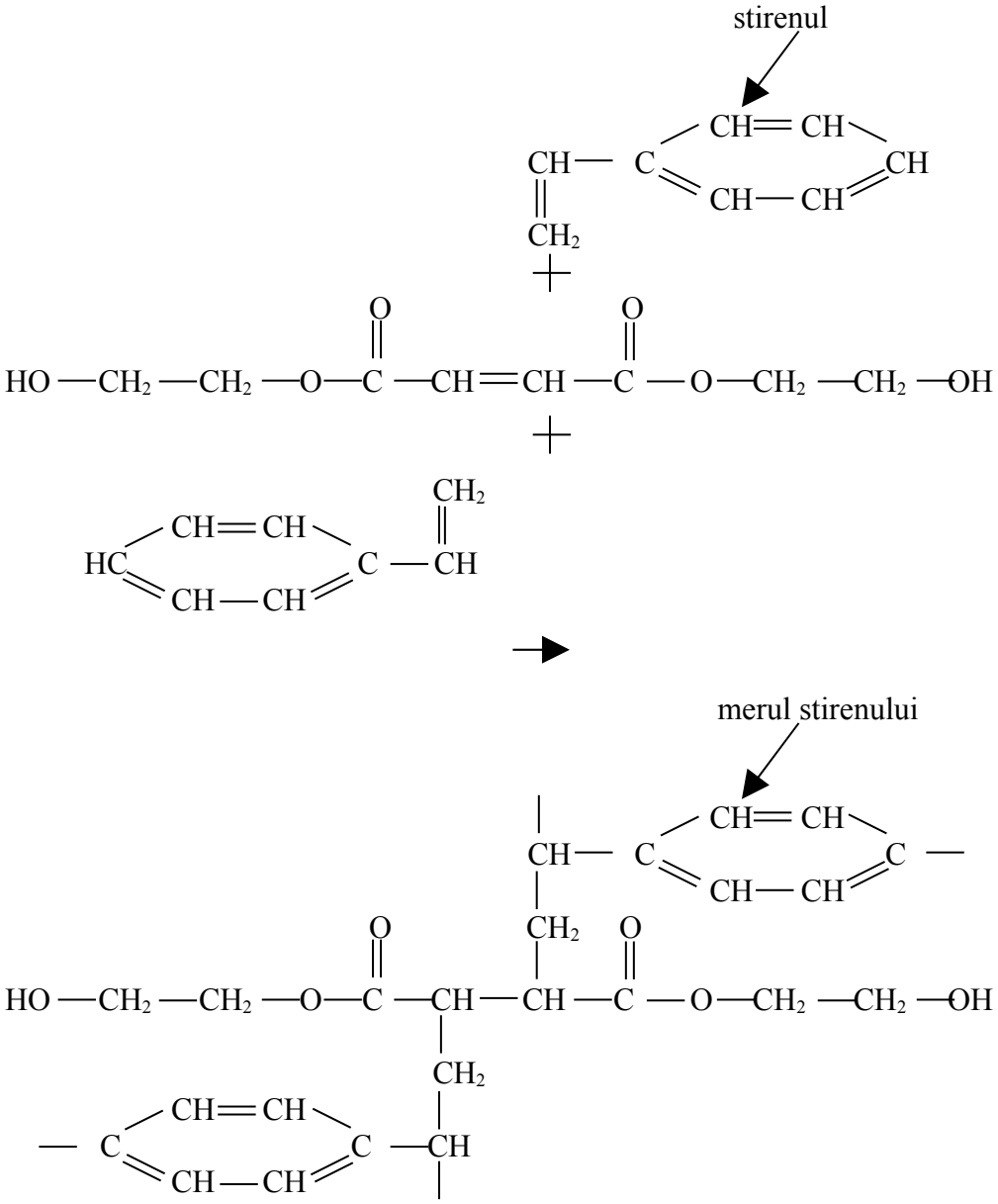


Fig. 207
Reticularea poliesterului nesaturat cu polistiren

IX.7.19. Fenoplastele

Fenoplastele >PF< au apărut în 1909 (Baekeland) şi sunt produse ca urmare a reacţiei de policondensare dintre fenol şi formol în mediu:

-bazic (pH > 8), când se obţine răşină " one step " >PF1<, numite şi bachelită tip A (rezol), bachelită tip B (rezitol) şi bachelită tip C (rezită);

-acid (pH < 4), când se obţine răşină " two steps "> PF2 < (novolacul).

Formolul este o soluţie apoasă 37-50 % de aldehidă formică. Fenolii sunt trifuncţionali (Fig. 208), iar în final se formează un edificiu tridimensional, deci un polimer termorigid.

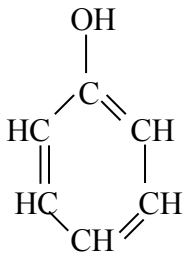


Fig.208
Fenolul

Răşina " one step " >PF1< se obţine în mediu bazic (pH > 8), când reacţia de condensare are loc cu mai mult de un mol de formol la un mol de fenol, asigurându-se astfel condiţiile obţinerii unei reţele tridimensionale. La creşterea temperaturii, se obţine succesiv rezol, rezitol şi rezită. Creşterea temperaturii se poate realiza chiar în timpul obţinerii formei, pentru a se face trecerea de la rezol la celelalte forme de răşină, menţionate anterior.

Rezolul este complet solubil, rezitolul este parţial solubil, iar rezita este complet reticulată şi nu este solubilă în solvenţii obişnuiţi (alcooli, cetone).

Răşina " two steps " >PF2< se obţine în mediu acid (pH < 4), când reacţia de condensare are loc cu mai mult de un mol de fenol la un mol de formol (exces de fenol), neasigurându-se astfel condiţiile obţinerii unei reţele tridimensionale. Astfel, în această fază răşina obţinută este termoplastică. Pentru asigurarea reticulării se adaugă hexametilen-tetramină şi se încălzeşte la o temperatură de peste 180 ^{o}C. Ca şi aminoplastele, fenoplastele sunt amestecate cu materiale de şarjare sau de armare, ca de exemplu:

-aşchii de lemn, pentru reducerea preţului;

-celuloză, pentru stabilitatea dimensională;

-mică, pentru dielectricitate;

-azbest, pentru rezistenţă la foc;

-fibră de sticlă, pentru rezistenţa mecanică.

Proprietăţile principale ale răşinii " one step " >PF1< amestecate cu celuloză sunt următoarele:

-densitatea: 1,35-1,4 g / cm^3;

-rezistenţa la rupere: 24-50 MPa;

-nu prezintă fluaj;

-culoare închisă;
-inerţie chimică bună cu excepţia bazelor tari;
-insensibilitate la umiditate;
-insensibilitate la acţiunea microorganismelor;
-rezistenţă mică la foc;
-autoextinctibile;
-dielectrice;
-rezistenţă la arc mediocră;
-stabilitate dimensională.

Utilizările principale ale " one step " >PF1< amestecate cu celuloză sunt următoarele:
-piese turnate de uz general;
-produse obţinute prin laminare.

Proprietăţile principale ale răşinii " two steps ">PF2< amestecate cu mică sunt următoarele:
-densitatea: 1,45-1,75 g / cm^3;
-rezistenţa la rupere: 25-49 MPa;
-pierderi electrice mai mici decât a celorlalte fenoplaste;
-dielectrice.

Utilizările principale ale răşinii " two steps ">PF2< amestecate cu mică sunt următoarele:
-electrotehnică;
-piese mecanice rigide.

IX.7.20. Poliuretanii

Uretanii sunt esteri ai acidului carbamic ($H_2N{=}\overset{\overset{O}{\|}}{C}OR$).

Poliuretanii >PUR< conţin unitatea de bază $R_1NHCOOR_2$, precum şi grupări libere de izocianat $-N{=}C{=}O$, astfel că ei pot avea o mare varietate de compuşi.

Grupul izocianat reacţionează cu:
-donori de hidrogen (apă, amine, alcooli etc.);
-izocianaţi (dimerizare, trimerizare etc.).

Uretanul poate fi produsul reacţiei dintre un izocianat şi un alcool (Fig.209).

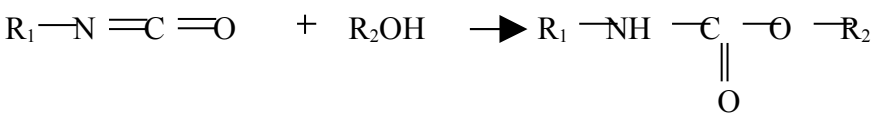


Fig. 209
Obţinerea uretanului

Prin reacţia dintre un diizocianat cu:
-un dialcool se obţine un polimer liniar (termoplastic) (Fig.210);
-un trialcool se obţine un polimer în spaţiu (termorigid).

Poliuretanii pot fi sub formă de:

-fibre;
-răşini de protecţie;
-răşini de turnare;
-elastomeri;
-bureţi.

Fibrele de poliuretani se obţin din reacţia dintre 1,4-butan-diol şi hexametilen diizocianat.

Proprietăţile principale ale fibrelor de poliuretani sunt următoarele:
-modulul de elasticitate foarte mare;
-dielectrice;
-rezistenţă la umezeală.

Utilizările principale ale fibrelor de poliuretani sunt următoarele:
-structuri textile care necesită elasticitate excepţională;
-perii pensulelor, periilor.

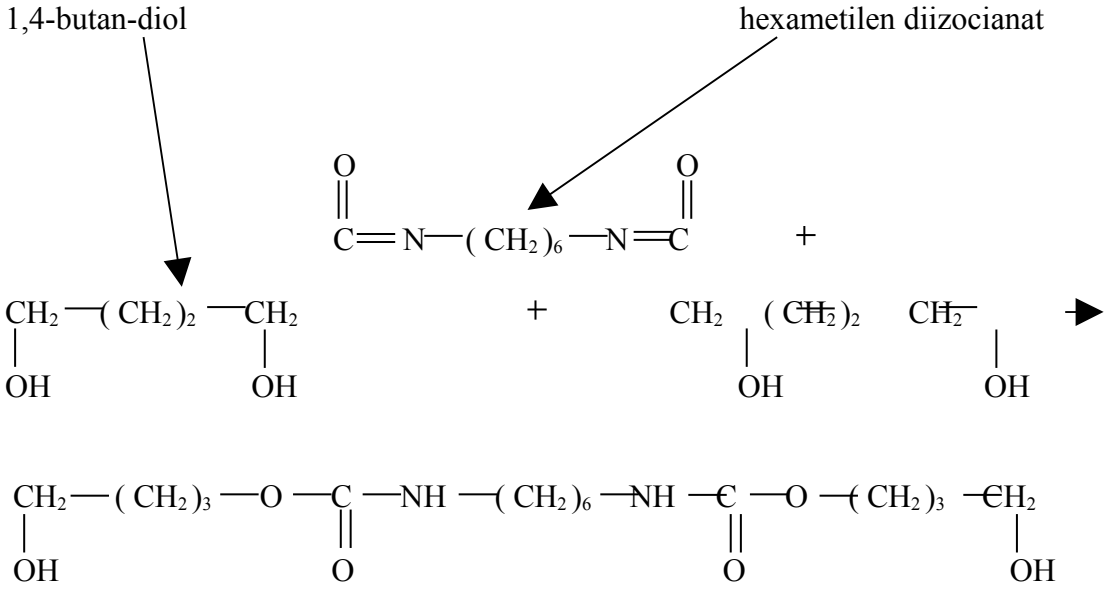


Fig.210
Obţinerea unui polimer liniar (termoplastic) în urma reacţiei dintre
1,4-butan-diol şi hexametilen diizocianat

Răşinile de protecţie poliuretanice sunt formate dintr-un prepolimer care conţine grupuri de izocianat (toluen şi 4,4-difenil metan) şi materiale hidroxilice.

Proprietăţile principale ale răşinilor de protecţie poliuretanice sunt următoarele:
-rezistenţă la impact;
-duritate mare;
-inerţie la acizi şi baze;
-rezistenţă la intemperii;
-atacate de solvenţi aromatici şi clorurați;
-tendinţă de îngălbenire în aer.

Utilizările principale ale răşinilor de protecţie poliuretanice sunt următoarele:
-acoperiri care necesită încălzire în cuptor;
-protecţia sârmelor;
-vopsele.

Bureţii de poliuretan se obţin din reacţia dintre un polieter şi un diizocianat în prezenţa apei şi a unui catalizator (amine). În timpul reacţiei, se formează dioxid de carbon, care provoacă umflarea materialului. Uneori, pentru a accelera umflarea se utilizează substanţe volatile, cum este trifluormetanul.

Proprietăţile principale ale bureţilor din poliuretan sunt următoarele:
-flexibili sau rigide în funcţie de tipul buretelui;
-izolanţi foarte buni;
-rezistenţi la foc.

Utilizările principale ale bureţilor flexibili din poliuretan sunt următoarele:
-izolarea conductelor;
-absorbant al ţiţeiului scurs în apa mărilor;
-pardoseli.

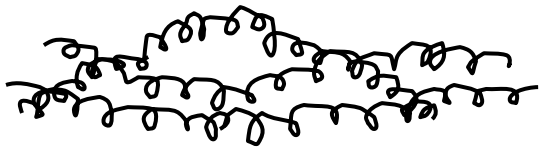
Utilizările principale ale bureţilor rigizi din poliuretan sunt următoarele:
-tapiţerii;
-filtrele ţigaretelor;
-izolaţii diverse;
-izolări fonice.

CAPITOLUL X
CAUCIUCUL

X.1. Introducere

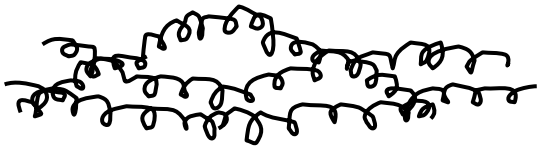
Cauciucul este un produs macromolecular cu limita de elasticitate scăzută, cu modificări dimensionale importante la aplicarea unor forțe exterioare, dar cu o revenire rapidă la aproape dimensiunile inițiale, când aplicarea forțelor exterioare încetează. El face parte din grupa elastomerilor.

Comportarea deosebită a elastomerilor se datorează structurii cis a polimerilor, care provoacă buclarea (încolăcirea) lanțurilor macromoleculelor (Fig.211). De exemplu, lanțul poliizoprenic al cauciucului natural are configurație cis (grupul CH_2 se găseşte de aceeaşi parte a planului care trece prin legătura dublă dintre atomii de carbon), în timp ce lanțul poliizoprenic al gutapercii are configurație trans şi nu este elastic (Fig.212).

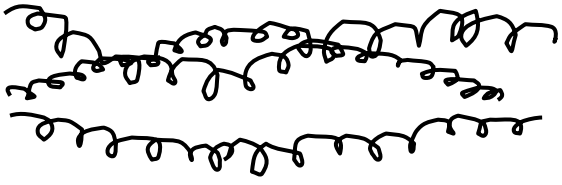


a

b



c



d

Fig.211
Buclarea lanţurilor polimerilor la elastomeri:
a-înainte de aplicarea forţelor exterioare; b- în timpul aplicării forţelor exterioare; c- după încetarea aplicării forţelor exterioare în cazul ideal;
d- după încetarea aplicării forţelor exterioare în cazul real.

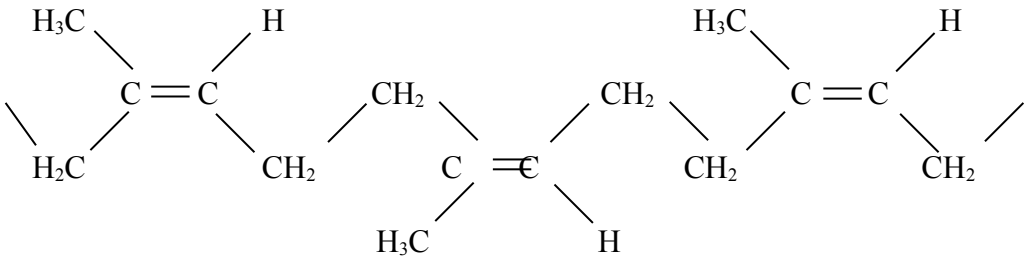


Fig.212.
Configuraţia cis a lanţului poliizoprenic

În cazul ideal, la încetarea aplicării forţei exterioare, elastomerul are numai o comportare elastică, revenind complet la forma şi dimensiunile iniţiale. În cazul real, la încetarea aplicării forţei exterioare, elastomerul are o comportare elastică (deformare elastică), datorită rebuclării lanţurilor macromoleculelor, dar şi o comportare vâscoasă, datorită alunecării lanţurilor macromoleculelor între ele
(deformare vâscoasă).

X.2. Realizarea punților între macromoleculele liniare

Deformarea vâscoasă poate fi prevenită prin realizarea unor punți între macromoleculele liniare la nivelul dublei legături. Prezența acestor punți are şi avantajul că împiedică oxidarea elastomerului, care este însoțită de degradarea lui (apariția crăpăturilor, etc.).

În cazul cauciucului natural brut, realizarea punților se realizează prin vulcanizare, care constă într-o încălzire de scurtă durată la 130 - 140°C a cauciucului amestecat cu 0,5 - 1 % sulf. În acest proces, sulful acționează la nivelul dublelor legături, formând punți de sulf perpendiculare pe direcția de creştere a macromoleculelor (Fig. 213). Prin vulcanizare, cauciucul brut:

-îşi pastrează elasticitatea între –70 şi 140 °C;
-îşi măreşte rezistența mecanică;
-îşi măreşte rezistența la frecare;
-devine insolubil în solvenții obişnuiți.

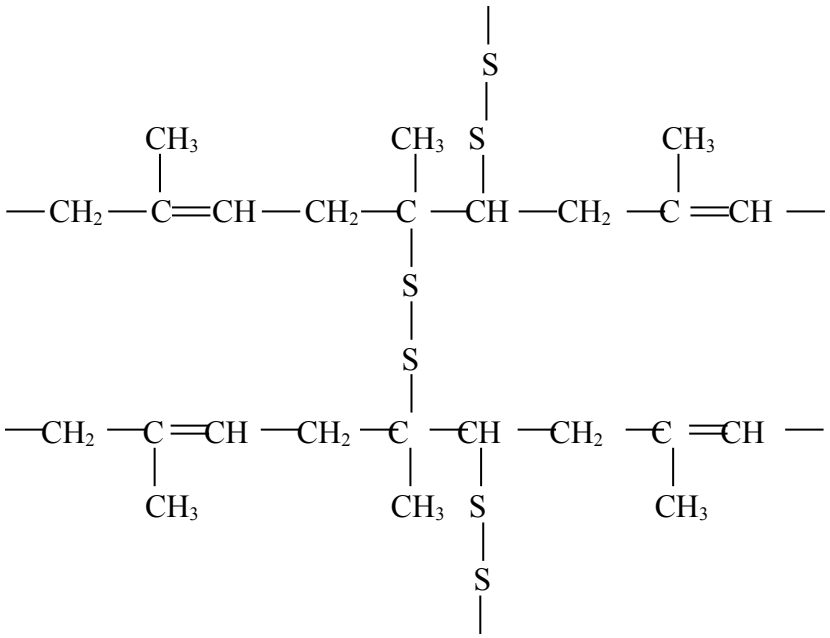
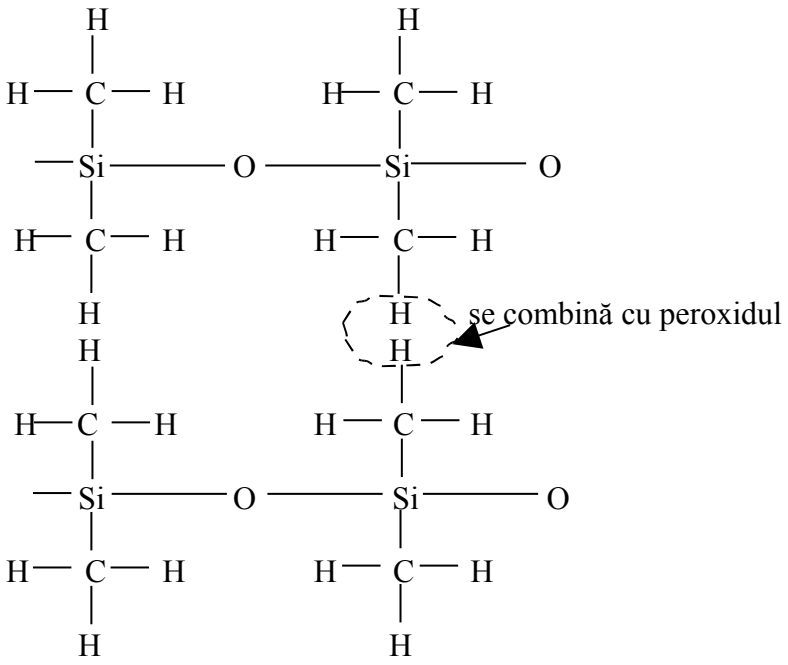


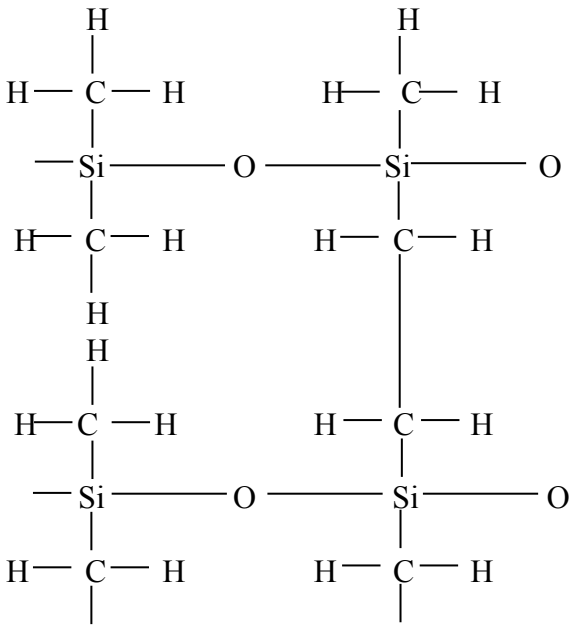
Fig. 213

Punți de sulf perpendiculare pe direcția de creştere a macromoleculelor de izopren la cauciucul natural

La creşterea conținutului de sulf, cauciucul devine tot mai dur, iar la o cantitate maximă de sulf de 30 - 40 %, se obține ebonita.

Elastomerii siliconici nu au duble legături, motiv pentru care punțile se realizează prin introducerea unui peroxid, care extrage un hidrogen din gruparea metilică (Fig. 214).





H H

Fig. 214
Punte de carbon perpendiculară pe direcția de creştere a macromoleculelor
la elastomerul siliconic

X.3. Cauciucuri sintetice

Cauciucurile sintetice formează un grup de elastomeri care au proprietăți asemănătoare cauciucului natural.

Principalele tipuri de cauciucuri sunt următoarele:

-cauciucul butadienic, numit şi Buna sau SKB (Fig.215);

-cauciucul cloroprenic, numit şi Neopren (Fig.216);

-cauciucul butadienstirenic, numit şi Buna S, SKS sau Carom 35 (Fig.217);

-cauciucul butadien α – metilstirenic, numit şi Buna S-S, Carom 1500 (Fig.218);

-cauciucul butadien-nitrilic, numit şi Buna N (Fig.219);

-cauciucul poliizoprenic (Fig.220).

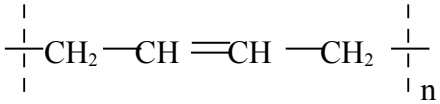


Fig.215
Cauciucul butadienic, numit şi Buna sau SKB

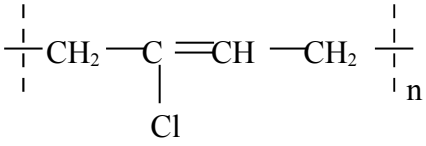


Fig.216
Cauciucul cloroprenic, numit şi Neopren

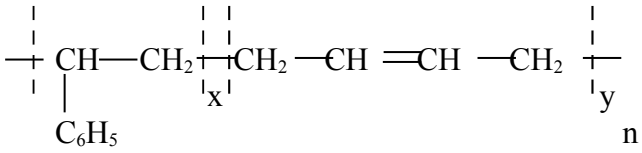


Fig.217
Cauciucul butadienstirenic, numit şi Buna S, SKS sau Carom 35

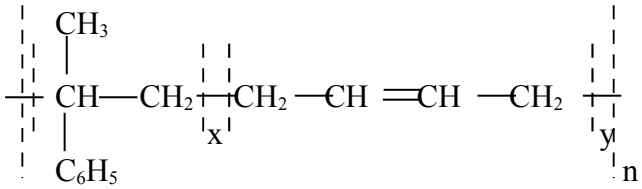


Fig.218
Cauciucul butadienstirenic, numit şi Buna S, SKS sau Carom 35

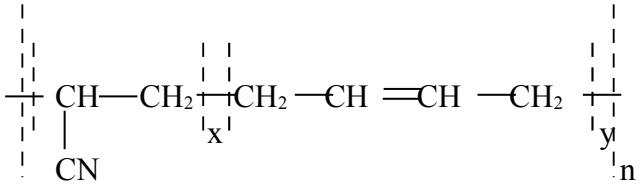


Fig.219
Cauciucul butadien-nitrilic, numit şi Buna N

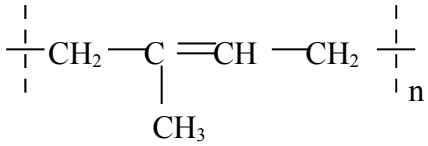


Fig.220
Cauciucul poliizoprenic

Ca şi la masele plastice, cauciucurile mai conţin unele materiale de adaos:
-acceleratori de vulcanizare;
-antioxidanţi, care întârzie îmbătrânirea;
-ingrediente:
-active, care ameliorează proprietăţile (negrul de fum etc.);
-pasive, care micşorează preţul de cost (talcul);
-plastifianţi, care asigură o bună comportare la temperaturi joase;
-coloranţi;
-cauciuc regenerat, care micşorează preţul de cost.
Utlizările principale ale cauciucului sunt următoarele:

-anvelope, camere de aer;
-curele de transmisie;
-benzi transportoare;
-garnituri de etanşare;
-furtune;
-covoare, mănuşi electroizolante;
-bărci pneumatice;
-jucării.

CAPITOLUL XI
MATERIALE OXIDICE (CERAMICE)

XI.1. Introducere

Materialelor oxidice au la bază diferiți oxizi şi silicați. Oxizii şi silicații, în natură, se numără cu sutele şi reprezintă clasa de minerale cu cea mai mare răspândire în scoarța terestră.

Prelucrarea materialelor oxidice naturale a constituit o ocupație foarte veche a omenirii (olăritul).

Principalele grupe de produse oxidice sunt următoarele:
-materialele ceramice;
-sticlele;
-materialele abrazive;
-lianții;
-materialele refractare.

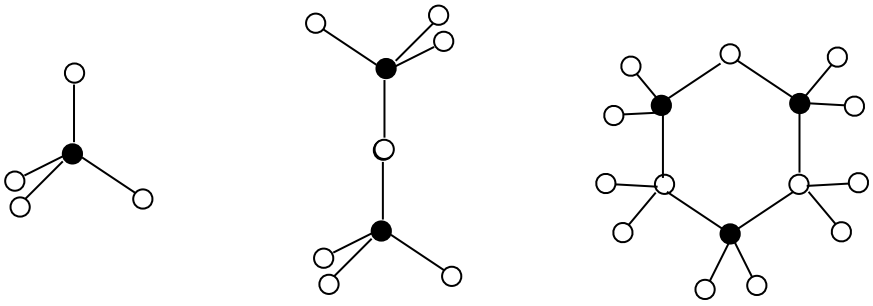
Deoarece, pricipala grupă o formează materialele ceramice, materialele oxidice mai sunt denumite materiale ceramice.

XI.2. Structura silicaților naturali

Silicații sunt formați din cationi şi anioni. Cele mai semnificative structuri de silicați sunt următoarele:

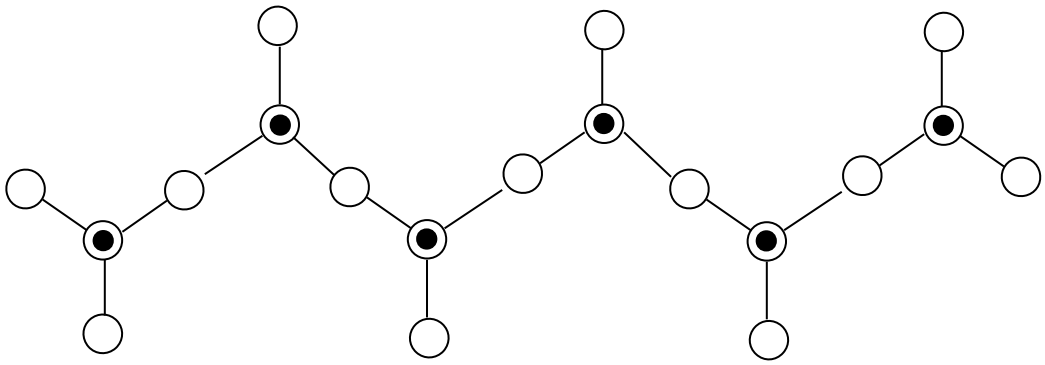
-cu anioni rezultați din legarea tetraedrelor SiO_4 prin atomi de oxigen comuni de tipul:

-ortosilicaților SiO_4^{4-} (Fig. 221.a);
-pirosilicaților $Si_2O_7^{6-}$ (Fig. 221.b);
-ciclurilor $(SiO_3)_n^{2n-}$ (Fig. 221.c);
-lanțuri simple $(SiO_3)_n^{2n-}$(Fig. 222.a);
-lanțurilor duble $(Si_4O_{11})_n^{6n-}$(Fig. 222.b).

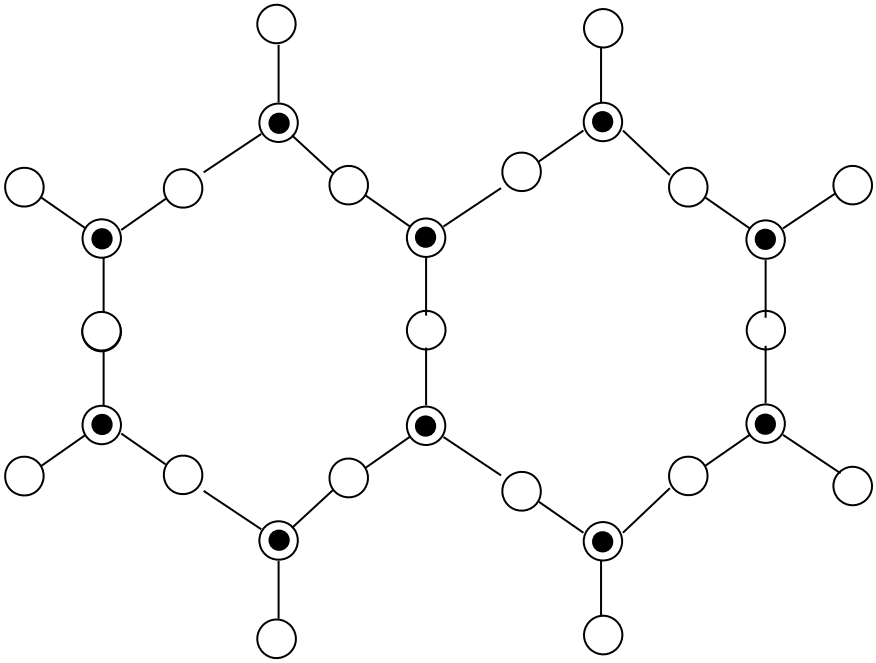


a b c

Fig. 221
Anioni de silicați:
a- SiO_4^{4-} ; b- $Si_2O_7^{6-}$, c- $Si_3O_9^{6-}$
● -siliciu ○ -oxigen.



a



b

Fig.222
Lanțuri de anioni:
a-lanțuri simple (SiO_3)$_n^{2n-}$; b-lanțurilor duble (Si_4O_{11})$_n^{6n-}$.

-cu anioni rezultați din substituția izomorfă cu aluminiu a siliciului din tetraedrele SiO_4;
-cu cationi rezultați din substituția izomorfă a cationilor inițiali.

XI.3. Principalele clase de silicați naturali

Principalele clase de silicați naturali sunt următoarele:
-silicați cu anioni SiO_4^{4-}:
- -forsterita: Mg_2SiO_4;
- -fayolita: Fe_2SiO_4 ;
- -olivină: Mg, Fe_2SiO_4;
- -monticelita: $CaMgSiO_4$;
- -larsenita: PbZn SiO_4;
- -zirconita: $ZrSiO_4$;
- -torita: $ThSiO_4$;
- -piropul: $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$, în care Mg poate fi înlocuit parțial prin Fe;
- -grosularul: $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$, în care Ca poate fi înlocuit parțial prin Fe;
- -norbergita: $Mg_3[(HO, F)_2(SiO_4)]$;
- -condrodita: $Mg_5[(HO, F)_2(SiO_4)_2]$;
- -topaz: $Al_2[F_2(SiO_4)]$;
- -silimanita: $Al_2[(O) (SiO_4)]$;
- -clinozoisita: $Ca_2Al_3[(HO, F)_2(SiO_4)_3]$;
- -epidotul: $Ca_2(Al, Fe^{3+})_3[(HO, F)_2(SiO_4)_3]$;
- -axinita: $Ca_2(Mn, Fe)Al_2BH (SiO_4)_4$;

-silicați cu anioni $Si_2O_7^{6-}$:
- -tortveitita: $Sc_2Si_2O_7$;
- -hemimorfita: $Zn_4[(HO)_2(Si_2O_7)] \cdot H_2O$;

-silicați cu anioni (SiO_3)$_n^{2n-}$:
- -benitoita: $BaTiSi_3O_9$;
- -wolastonita: $Ca_3Si_3O_9$;
- -smaragdul: $Be_3Al_2Si_6O_{18}$;

-silicați fibroşi:
- -enstatita: Mg SiO_3;
- -diopsita: CaMg (SiO_3)$_2$;
- -spodumenul: LiAl (SiO_3)$_2$;
- -jadeitul: NaAl (SiO_3)$_2$;

-antofilita: $Mg_7 [(HO)_2(Si_4O_{11})_2]$;
-tremolita: $Ca_2 Mg_5 [(HO)_2(Si_4O_{11})_2]$;
-hornblendele, la care formula decurge din a tremolitei prin înlocuirea izomorfă a siliciului cu aluminiul în anion şi conţinând printre cationi şi Fe^{2+}, Al, Fe^{3+}, Na sau K;

-silicaţi stratificaţi:
-apofilita: $KCa_4[F (Si_2O_5)_4] \cdot 8H_2O$;
-montmorilonitul: $Al_2(HO)_2(Si_2O_5)_2 \cdot nH_2O$, la care aluminiul este înlocuit parţial cu magneziu;

-silicaţi cu anioni tridimensionali:
-feldspaţi:
-potasici:
-ortoclasul: $K(AlSi_3O_8)$;
-celsianul:$Ba(Al_2Si_2O_8)$;
-sodici:
-albita: $Na(AlSi_3O_8)$;
-anortita. $Ca(Al_2Si_2O_8)$.

XI.4. Materialele ceramice

Produsele ceramice (gr. keramos: de argilă) au fost printre primele realizate de om şi se bazează pe proprietăţile reologice ale sistemului argilă-apă. În prezent, materia primă utilizată este tot mai mult pregătită şi mai complexă pentru a satisface cerinţe tot mai exigente.

Masa ceramică (materialul înainte de a fi ars) cuprinde:

-materiale de bază:
  -neplastice: nisip, feldspat, silex etc;
  -plastice: argilă, caolin etc;
-materiale de adaos:
  -fluxuri;
  -modificatori:
    -de compoziţie chimică;
    -de proprietăţi electrice;
    -de culoare.

Produsele ceramice formează două grupe principale:

-ceramica brută sau poroasă:
  -nearsă;
  -arsă:
    -teracota (it. terra cotta: pământ ars);
-ceramica fină sau impermeabilă:
  -faianţa (Faenza, oraş italian);
  -porţelanul.

Teracota este un produs ceramic nevitrificat, obţinut din argilă comună sau marnă silicioasă încălzită la temperaturi joase (200 - 500^{o}C). Teracota poate fi acoperită cu:

-angomă;
-glazură.

Angoma este un înveliş pe bază de argilă, mat, care poate fi impermeabil sau permeabil.

Glazura este un înveliş cu caracter vitros, care este, practic, impermeabil.

Teracota este utilizată în principal pentru realizarea:

-cărămizilor pentru construcţii;
-ţiglelor;
-plăcilor pentru pardoseli;
-plăcilor pentru sobe;
-obiectelor ornamentale.

Faianța este un produs ceramic nevitrificat, alb, poros, acoperit cu glazură, obținut dintr-un amestec de caolin, feldspat şi nisip, încălzit la peste 1250 ºC.

Utilizările principale ale faianței sunt următoarele:

-placaje;
-veselă;
-obiecte sanitare;
-obiecte decorative.

Porțelanul (it. porcellana) este un produs ceramic foarte vitrificat, alb, translucid, dur, obținut dintr-un amestec de caolin, feldspat şi silex sau nisip, la care se adaugă steatit (varietate de talc), corindon, coloranți anorganici, încălzit la peste 1250 ºC, acoperit cu o glazură incoloră şi transparentă.

Porțelanul a fost obținut pentru prima oară în secolul al VIII-lea în China, iar în Europa în anul 1709 la Meissen (Germania).

Utilizările principale ale porțelanului sunt următoarele:

-veselă;
-obiecte sanitare;
-izolatoare electrice;
-obiecte decorative.

XI.5. Sticlele

În general, sticlele sunt lichide amorfe subrăcite cu o viscozitate foarte mare, având aparența unui solid. Primele produse de sticlă au fost obținute în Mesopotamia acum 4500 ani.

Trecerea din fază sticloasă în stare fluidă este reversibilă.

Sticlele pot fi clasificate după mai multe criterii (STAS 3593-89):

-după formatorul de rețea:
  -silicatice (SiO_2);
  -boratice (B_2O_3);
  -borosilicatice (SiO_2 şi B_2O_3);
-după compoziția chimică:
  -unare:
    -de silice (% $SiO_2 = 100$);
    -de cuarț (% $SiO_2 \geq 99$);
  -binare:
    -silicatosodice ($41 \leq$ % $SiO_2 \leq 49$; $51 \leq$ % $Na_2O \leq 59$);
    -silicatopotasice ($41 \leq$ % $SiO_2 \leq 49$; $51 \leq$ % $K_2O \leq 59$);
  -ternare:
    -silicatocalcosodice ($74 \leq$ % $SiO_2 \leq 76$; $8 \leq$ % $CaO \leq 8,5$; $15,5 \leq$ % $Na_2O \leq 16,5$);
    -silicatocalcopotasice ($74 \leq$ % $SiO_2 \leq 75$; $8 \leq$ % $CaO \leq 8,5$; $12 \leq$ % $K_2O \leq 14$; $2 \leq$ % $Na_2O \leq 3$);
  -complexe: marea majoritate a sticlelor conțin în diferite proporții cel puțin patru din următorii compuşi:
    -SiO_2;
    -Na_2O;
    -K_2O;
    -CaO;
    -B_2O_3;
    -Al_2O_3;
    -MgO;
    -BaO;
    -ZnO;

-ZrO_2;
-Li_2O;
-MnO;
-PbO;
-TiO_2;
-Fe_2O_3
-etc.

-după culoare:
-incolore (factorul global de transmisie a luminii de minim: 75 % / cm):
-sticle albe (factorul global de transmisie a luminii de 75 –87 % / cm şi % $Fe_2O_3 \leq 0,04$);
-sticle semialbe (% $Fe_2O_3 \leq 0,20$);
-colorate (conţin diverşi coloranţi sau opacizanţi):
-sticle transparente (factorul global de transmisie a luminii de 75 –60 % / cm);
-sticle netransparente (factorul global de transmisie a luminii de maxim10 % / cm);
-sticle translucide (factorul global de transmisie a luminii de 6-10 % / cm);
-sticla opacă.
-după utilizare:
-sticle pentru ambalaje şi articole de menaj:
-sticla comună (sticla silicatocalcosodică cu compoziţia tipică: % $SiO_2 = 74$; % $Al_2O_3 = 1$; % CaO = 16 %; $Na_2O = 15$; % MgO = 4);
-sticle cristal (sticle silicatoplumbopotasice, foarte transparente, foarte omogene, cu valori superioare ale indicelui de refracţie n_l):
-sticla cristal greu (% PbO > 30; $n_l > 1,545$);
-sticla cristal semigreu ($18 <$ % PbO ≤ 30; $1,540 < n_l \leq 1,545$);
-sticla cristal uşor ($9 <$ % PbO ≤ 18; $1,530 < n_l \leq 1,540$);
-sticle pentru construcţii:
-sticle pentru geamuri:
-comune (sticle silicatocalcosodice):
-albă (compoziţie tipică: % $SiO_2 = 72$; % $Al_2O_3 = 1$; % CaO = 10; % $Na_2O = 14$;
-semialbă;
-translucidă;
-speciale:
-sticle borosilicatice

(% SiO_2 = 70-87; % B_2O_3 = 7-15);
-sticle vitroceramice (sticle silicoaluminocalcomagnezice cu TiO_2, formate dintr-o fază cristalină şi o fază vitroasă reziduală ca urmare a unui tratament de încălzire care provoacă germinarea fazei cristaline (% SiO_2 = 50-70; % Al_2O_3 = 15-27; %TiO_2 = 1-5);

-sticle termoabsorbante (sticle cu un conţinut variabil de oxizi care absorb radiaţia calorică în proporţie de 30-40 %);
-sticle termofonoabsorbante (sticle cu un conţinut variabil de oxizi care absorb radiaţia calorică în proporţie de 30-40 % şi atenuează sunetul cu minim 20 dB);

-sticle pentru aparatură de laborator şi industriale:
-sticle rezistente la căldură (sticle borosilicatice cu % B_2O_3 = 5);
-sticla tip Pyrex (sticla specială borosilicatică cu compoziţie tipică: % SiO_2 = 82; % Al_2O_3 = 2; % Na_2O = 4; % B_2O_3 = 12);
-de cuarţ (% $SiO_2 \geq 99$);
-sticla tip Vycor (sticla specială cu compoziţia tipică: % SiO_2 = 96; % B_2O_3 = 4, obţinută prin topire unei compoziţii complexe şi îndepărtarea celorlalţi oxizi prin solubilizare selectivă);

-sticle optice:
-sticle crown (sticle borosilicatice foarte omogene cu valori superioare ale indicelui de refracţie n_l):
-sticla crown obişnuită (indicele de refracţie n_l = 1,4923, cu compoziţia tipică:
% SiO_2 = 70; % Na_2O = 9; % B_2O_3 = 10;
% BaO = 2; % K_2O = 9);
-sticla crown grea (indicele de refracţie n_l = 1,5421-1,6224);
-sticla crown foarte grea (indicele de refracţie n_l = 1,6026-1,6528);
-sticle flint (sticle silicatoplumbopotasice, foarte transparente, foarte omogene, cu valori superioare ale indicelui de refracţie n_l :
-sticla flint obişnuită (indicele de refracţie n_l = 1,579-1,6036, cu compoziţia tipică:
% SiO_2 = 50; % PbO = 27; % K_2O = 8;
% Na_2O = 1; % BaO = 14);
-sticla flint medie (indicele de

refracție n_l = 1,5497 –1,5730);

-sticla flint grea (indicele de refracție n_l = 1,6544-2,0021);

-sticle fotosensibile (sticle care conțin o cantitate mică de substanțe fotosensibile, cum sunt anumiți compuşi de aur, argint sau cupru; la trecerea luminii ultraviolete printr-un film negativ pe suprafața sticlei, se formează o imagine invizibilă, care devine vizibilă la încălzire);

-sticle fotocromice (sticle care conțin cristale dispersate de halogenuri de argint şi îşi schimbă culoarea la expunerea la lumină şi revin la culoarea inițială, când lumina dispare; anumite sticle fotocromice devin fumurii la lumină puternică şi se deschid la lumină de intensitate mai slabă);

-sticle pentru corpuri de iluminat (sticle silicatocalcosodică cu compoziția tipică: % SiO_2 = 74; % Al_2O_3 = 1; % CaO = 5 %; Na_2O = 16; % MgO = 4);

-sticle pentru filtre (sticle cu absorbție selectivă a luminii în diferite domenii ale spectrului):

-sticle cu transmisie în ultraviolet;

-sticle cu transmisie în infraroşu;

-sticle pentru tehnică nucleară:

-sticle rezistente la radiații (sticle cu conținut de $0,25 \leq \%\ CeO_2 \leq 2,00$ care nu-şi schimbă practic absorbția spectrală în domeniul vizibil, chiar după expuneri îndelungate la radiații);

-sticle absorbante de radiații (sticle cu PbO sau P_2O_5 care absorb radiațiile gama).

XI.6. Materialele abrazive

Materialele abrazive sunt materiale dure, capabile să îndepărteze materialul de pe suprafața unor obiecte mai moi. Se poate spune că materialele abrazive sunt indispensabile pentru fabricarea a aproape tuturor produselor obținute în zilele noastre.

Materialele abrazive pot fi:

-naturale:
- -diamantul;
- -corindonul;
- -emeriul;
- -granatul;
- -silexul;
- -cuarțul;
- -piatra ponce;
- -diatomitul;
- -talcul;

-sintetice:
- -diamantul sintetic;
- -carbura de siliciu;
- -carbura de bor;
- -oxidul de aluminiu;
- -nitrura de bor.

Diamantul este o formă alotropică a carbonului cu structură tipică . Este incolor, iar datorită impurităților devine gălbui-roşiatic, albăstrui, negru. Are duritatea cea mai mare, de 10 pe scara Mohs. Este dielectric şi deosebit de rezistent la atacul acizilor sau bazelor.

Corindonul este o varietate naturală a Al_2O_3 cu diferite culori în funcție de impurități (rubinul: culoare roşie datorită impurităților de oxizi de crom; safirul: culoare albastră datorită impurităților de oxizi de titan şi de fier). Duritatea corindonului este de 9 pe scara Mohs.

Emeriul este corindon amestecat cu cuarț, magnetită (Fe_3O_4 cu duritatea de 5,5 - 6,5 pe scara Mohs) sau ilmenit (FeO, TiO_2 cu duritatea 5 - 6 pe scara Mohs).

Cuarțul este SiO_2 cu duritatea 7 pe scara Mohs. Poate fi colorat prin iradiere sau datorită impurităților.

Piatra ponce este o rocă vulcanică uşoară, poroasă cu duritate 4 - 5 pe scara Mohs.

Diatomitul este o rocă silicioasă uşoară, de origine organică (fosile), constituită din dioxid de siliciu hidratat (1-21 % apă). În stare pură este incolor, iar datorită

impurităților devine galben, albastru, roşu, brun, gri. Prezintă o duritate de 6 pe scara Mohs.

Talcul este un silicat hidratat de magneziu ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$), aflat în natură sub diferite forme. Este moale, unsuros, flexibil, cu aspect sidefos. Prezintă o duritate de 1 pe scara Mohs.

Diamantul sintetic este în prezent mai ieftin decât diamantul natural şi mai eficient în timpul prelucrării (polizare, rectificare, găurire etc.) datorită formei şi mărimii lui care poate fi realizată după necesități.

Carbura de siliciu este sub formă de cristale negre - albăstrui, iridizante, cu duritatea 9 pe scara Mohs. Este deosebit de refractară (sublimează cu descompunere la 2700^{o}C) şi foarte bună conducătoare de căldură.

Carbura de bor este sub formă de cristale negre, cu duritatea 9,3 pe scara Mohs. Este deosebit de refractară (se topeşte la 2750^{o}C).

Nitrura de bor este sub formă de cristale albe, cu duritatea în funcție de forța de presare de la obținere, astfel că poate avea duritatea egală cu a diamantului. Este deosebit de refractară (sublimează la 3000^{o}C).

Oxidul de aluminiu este obținut din alumină sub formă de cristale pure, mari şi albe sau impure, mici şi negricioase. În prezent oxidul de aluminiu este amstecat cu oxidul de zirconiu sau cu alte minerale dure, ca de exemplu, spinel ($MgOAl_2O_3$), formând o mare serie de produse abrazive cu diferite denumiri comerciale, devenind, astfel, cel mai utilizat abraziv.

Materialele abrazive sunt utilizate pentru obținerea umătoarelor produse principale:

-încorporate în corpuri solide:
- -pietrele de polizor;
- -pietrele de rectificare;
- -hârtia abrazivă;

- încorporate într-un mediu de transport:
  - -emulsiile de:
    - -lepuire;
    - -şlefuire;
  - -jetul de aer pentru:
    - -sablare;
    - -alicare.

XI.7. Lianții

Lianții sunt materiale pulverulente care, amestecate cu apă, formează o masă compactă solidă.

Se deosebesc următoarele grupe de lianți:

-lianți nehidraulici sau aerieni, care se întăresc în aer şi nu rezistă în apă:

- -var:
  - -gras;
  - -slab;
- -ipsos;

- lianți hidraulici, care se întăresc şi rezistă în apă:
  - -cimentul Portland;
  - -cimentul aluminos.

Cimentul Portland este un liant hidraulic anorganic, fin măcinat care, în amestec cu apa, formează o pastă care face priză şi se întăreşte prin reacțiile şi procesele de hidratare şi care, după întărire îşi menține rezistența şi stabilitatea chiar şi sub apă.

Întărirea hidraulică a cimentului are loc în primul rând datorită hidratării silicaților de calciu. Suma de SiO_2 reactiv şi CaO reactiv din ciment trebuie să fie de cel puțin 50 % din masă.

Componenții principali ai cimentului Portland sunt următorii:

-componenți principali:

- -clincherul Portland;

-componenți minori:

- -puzzolana naturală;
- -puzzolana industrială;
- -zgura granulată de furnal;
- -cenuşa de termocentrală;
- -şistul calcinat;
- -calcarul;
- -praful se silice;
- -filerele;
- -sulfatul de calciu;
- -aditivii.

Clincherul Portland conține cel puțin 66,66 % din masă silicați de calciu, restul conținând oxid de aluminiu (sub 5,00 % din masă) , oxid de fier şi alți oxizi, la care conținutul de oxid de magneziu nu depăşeşte 5,00 % din masă. Raportul dintre masele de oxid de calciu şi dioxid de siliciu nu este mai mic de 2,00.

Puzzolana naturală este o rocă de origine vulcanică sau sedimentară, de natură silico-aluminoasă, silicioasă sau mixtă.

Puzzolana industrială este formată din argile sau şisturi tratate termic, zguri răcite cu aer rezultate la prelucrarea unor metale neferoase (plumb, cupru, zinc etc.) sau din industria feroaliajelor, de natură silico-aluminoasă, silicioasă sau mixtă. Puzzolana industrială trebuie să satisfacă următoarele condiţii:

-să nu mărească in mod apreciabil necesarul de apă din ciment;

-să nu diminueze rezistenţa betonului sau mortarului;

-să nu corodeze armătura.

Zgura granulată de furnal este un material hidraulic latent care trebuie activat corespunzător şi să conţină cel puţin 66,66 % din masă zgură vitroasă (silicaţi de calciu, oxid de aluminiu, oxid de magneziu). De asemenea, raportul sumei masei oxidului de calciu şi masei oxidului de magneziu / masa dioxidului de siliciu trebuie să fie minim 1,00.

Cenuşa de termocentrală este un material pulverulent de natură silico-aluminoasă, provenit din arderea cărbunilor şi captat uscat la electrofiltru. Cenuşa de termocentrală trebuie să conţină minim 25 % dioxid de siliciu, având o reactivitate puzzolanică.

Şistul calcinat conţine faze de clincher, având o reactivitate puzzolanică. Când masa trioxidului de sulf depăşeşte limita superioară admisă, se reduce corespunzător aportul componenţilor care conţin sulfat de calciu.

Calcarul este o rocă sedimentară sau metamorfică cu un conţinut de carbonat de calciu mai mare de 75 %, care poate intra în compoziţia cimentului în proporţie mai mare de 5 %.

Filerele sunt diverse materiale anorganice naturale sau artificiale, care pot îmbunătăţi anumite proprietăţi ale cimentului.

Sulfatul de calciu poate proveni fie din natură ca gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ sau $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$) sau anhidrit ($CaSO_4$), fie din produsele secundare ale anumitor procese industriale. Sulfatul de calciu este adăugat în anumite proporţii în ciment în scopul reglării prizei.

Aditivii sunt substanţe care îmbunătăţesc fie procesul de fabricaţie sau anumite proprietăţi ale cimentului. Proporţia masică a aditivilor nu trebuie să de păşească 1 %.

În general, cimenturile sunt caracterizate prin:

-timpul de priză;

-rezistenţa mecanică la compresiune şi tracţiune;

-căldura de hidratare.

Timpul de priză este durata de atingere a unei anumite vîscozităţi a pastei de ciment şi este mai mică de 30 minute.

Rezistenţa mecanică la compresiune şi tracţiune este determinată după 28 de zile de întărire.

Căldura de hidratare se degajă în timpul prizei şi întăririi şi poate provoca apariţia fisurilor în beton datorită dilatării neunuforme.

Cimentul aluminos se deosebeşte de cimentul Portland astfel:

-conţine cel puţin 30-35 % oxid de aluminiu, spre deosebire de cimentul Portland care conţine sub 5% acest oxid;

-rezistenţa mecanică maximă la compresiune şi tracţiune se obţine mai

rapid;

-rezistă mai bine la soluții de sulfați.

Cimenturile sunt utilizate la prepararea mortarelor şi a betoanelor.

Varul se obține prin arderea calcarului. Varul gras conține practic numai CaO, iar varul slab conține şi impurități. Acest liant este utilizat la prepararea mortarelor.

Ipsosul se obține prin deshidratarea gipsului ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$ sau $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$). Ipsosul este utilizat la obținerea tencuielilor, panourilor de prefabricate, modelelor de turnătorie etc.

XI.8. Materiale refractare

Materialele refractare sunt materiale care au o refractaritate foarte mare şi o rezistență deosebită la şocuri termice.

Refractaritatea este temperatura la care o probă de material refractar de forma unui trunchi de piramidă de 30 mm înălțime, încălzită cu viteza de 2 ^oC / min se îndoaie astfel încât vârful atinge nivelul bazei.

Rezistența la şocuri termice este caracterizată prin rezistența la apariția fisurilor datorate tensiunilor interne provocate de gradientele mari de temperatură.

O clasificare posibilă a materialelor refractare este următoarea:

-după compoziția chimică:
- -acide:
  - -silicioase;
  - -silicoaluminoase:
    - -cu conținut scăzut de Al_2O_3;
    - -cu conținut ridicat de Al_2O_3 (mulitice);
- -bazice:
  - -calcice;
  - -magnezitice;
  - -calcomagnezitice,
  - -cromomagnezitice;
- -neutre:-cromitice;

-după refractaritate:
- -cu refractaritate normală (1580-1750^oC);
- -cu refractaritate mare (1770-2000^oC);
- -suprarefractare (peste 2000^oC);

-după formă:
- -granule;
- -fasonate:
  - -cărămizi;
  - -tuburi etc.

Materialele refractarele fasonate se pot clasifica la rândul lor după porozitate după cum urmează:

-superdense, cu porozitatea aparentă mai mică de 16 %;

-dense, cu porozitatea aparentă de 16-30 %;

-uşoare, cu porozitatea aparentă mai mare de 30 %.

Materialele refractare silicioase conțin 93-96 % silice.

Materialele refractare silico-aluminoase cu conținut scăzut de Al_2O_3 conțin 55 % silice, iar restul alumină, iar cele cu conținut ridicat de Al_2O_3 (mulitice) conțin 25 % silice, iar restul alumină.

Materialele refractare calcice conțin în principal $CaCO_3$ (calcar), iar restul $MgCO_3$ (magnezită).

Materialele refractare magnezitice conțin în principal $MgCO_3$, iar restul $CaCO_3$.

Materialele refractare calcomagnezitice conțin $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ (dolomită).

Materialele refractare cromitomagnezitice conțin Cr_2O_3 în proporție de 20-28 %, iar restul $MgCO_3$ şi $CaCO_3$.

Materialele refractare cromitice conțin cromit ($Cr_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) în proporție de peste 95 %.

Materialele refractare bazice sunt mai scumpe decât cele bazice, dar nu nu reacționează cu zgura bazică.

Materialele refractare sunt utilizate în special la căptuşirea cuptoarelor metalurgice.

CAPITOLUL XII
MATERIALELE COMPOZITE

XII.1. Introducere

Materialele compozite sunt materiale formate din două sau mai multe materiale, din ale căror combinație rezultă proprietăți pe care nu le posedă materialele inițiale.

Obținerea materialelor compozite de către oameni a început odată cu relizarea primului chirpic întărit cu paie.

Structura materialelor compozite este formată dintr-o matrice în care se găseşte un material mai dur sau durificator.

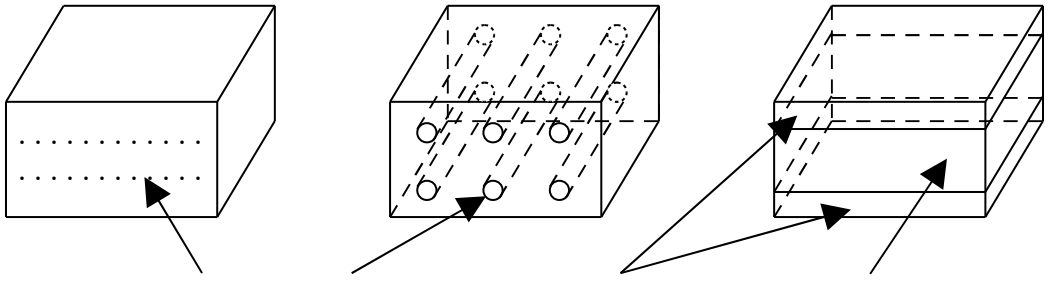
Materialele compozite pot fi clasificate astfel:

-după natura materialelor:

-materiale compozite metal-metal;
-materiale compozite metal-ceramic;
-materiale compozite metal-polimer;
-materiale compozite ceramic-polimer;
-materiale compozite polimer-polimer;

-după modul de aranjare a materialelor:

-materiale compozite cu particule (Fig.223.a);
-materiale compozite cu fibre (Fig.223.b);
-materiale compozite laminare (Fig.223.c).



particulă dispersată fibră material A material B

a b c

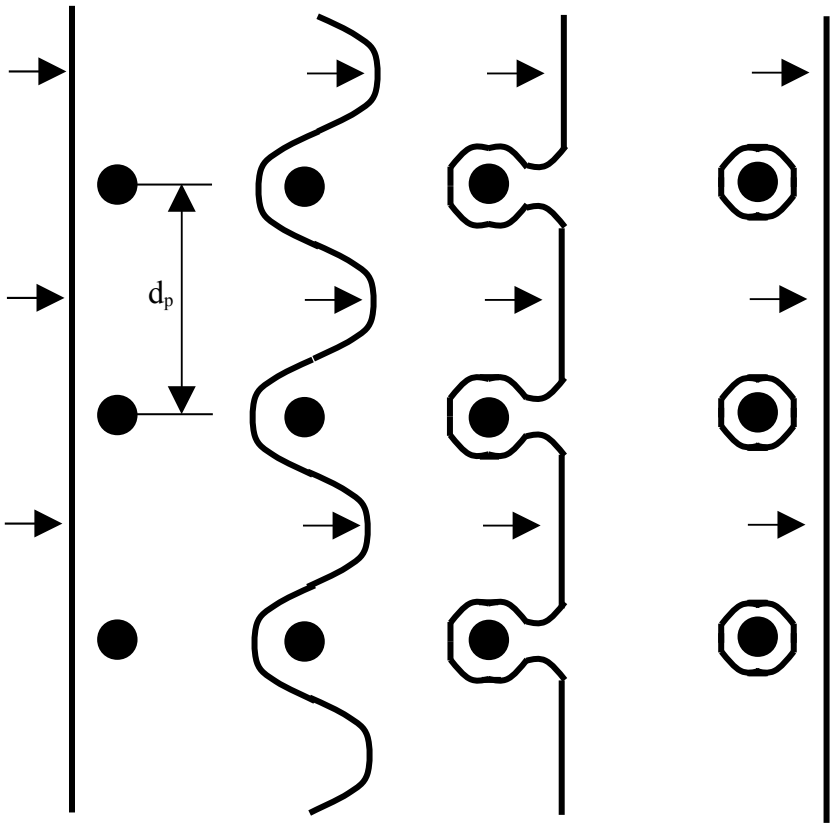
Fig.223
Materiale compozite:
a - materiale compozite cu particule; b - materiale compozite cu fibre;
c - materiale compozite laminare.

XII.2. Materialele compozite cu particule

Materialele compozite cu particule conțin particule dure într-o matrice mai ductilă. Scopul introducerii acestor particule poate fi:

-ameliorarea unor proprietăți, ca de exemplu:
- -limitei elastice;
- -durității;
- -rezistenței la uzare;
- -rezilienței;
- -lucrabilității;
- -refractarității;
- -absorbției de neutroni;
- -conductivității electrice;

-micşorarea prețului de cost, dacă particulele sunt mai ieftine decât matricea.



a b c d

Fig.224
Ilustrarea deplasării unei linii de dislocație printre particulele de oxid:
a,b,c,d-etapele deplasării unei linii de dislocație printre particulele de oxid, particule care se găsesc în planul ei de alunecare;
d_p-distanța dintre două particule de oxid.

Ameliorarea limitei elastice sau de curgere prin introducerea unor particule se întâlneşte la matricele metalice şi se realizează prin mecanismul de blocare a dislocațiilor.

Acest mecanism este identic cu cel al durificării aliajelor prin precipitarea unei a doua faze (Fig. 224).

Este de remarcat faptul că materialele metalice durificate prin precipitare nu sunt considerate materiale compozite.

Particulele de întărire sunt, de obicei, oxizi şi trebuie să satisfacă următoarele cerințe:

-să reprezinte obstacole eficiente la deplasarea dislocațiilor;

-să aibă o valoare optimă a:

-mărimii;

-formei;

-distribuției în matrice.

Exemplul clasic de material compozit cu particule de oxid cu limită elastică ameliorată este pudra de aluminiu sinterizată şi întărită cu oxid de aluminiu (SAP-Aluminium Sinterized Powder). Oxidul de aluminiu este introdus în compoziție sub formă de:

-pudră, care apoi este amestecată cu pudra de aluminiu şi sinterizată;

-film în jurul particulelor de aluminiu, care prin presare se sparge, formând particule, care apoi sunt supuse sinterizării.

În cazul superaliajului de nichel cu 20 % crom şi 1 - 2 % wolfram, cei trei componenți sunt sub formă de pudră sinterizată, după care este trecut un curent de oxygen, care oxidează numai toriul, formâdu-se, astfel, particule de oxid de toriu (oxidare internă). Astfel, matricea este superaliajul, iar particulele întăritoare sunt din ThO_2.

Unele dintre utilizările materialelor compozite întărite cu particule cu limită elastică ameliorată sunt date în tabelul 41.

Tabelul 41

Materialele compozite	Utilizările
Ag-CdO	Contacte electrice
Al-Al_2O_3	Reactoare nucleare
Be-BeO	Aeronautică, reactoare nucleare
Co-ThO_2	Materiale magnetice rezistente la fisurare
Co-Y_2O_3	Materiale magnetice rezistente la fisurare

Ni–20 % Cr–2 % ThO_2	Turbine
Pb-PbO	Baterii
Pt-ThO_2	Filamente
W- ThO_2	Filamente
W- ZrO_2	Filamente

Îmbunătățirea durității matricei este unul din cele mai frecvente scopuri ale materialelor compozite cu particule şi depinde în principal de :

-densitatea particulelor dure;

-duritatea particulelor.

Un exemplu de îmbunătățire excepțională a durității şi a rezistenței la uzare la temperaturi ridicate este cazul pastilelor obținute prin agregare de pulbere de WC (97-85%) şi pulbere de Co (3-15%), utilizate la sculele aşchietoare. Matricea este formată din cobalt, iar particula dură este WC. Sinterizarea are loc la o temperatură puțin superioară temperaturii de topire a cobaltului, pentru ca fiecare particulă de carbură de wolfram să fie înconjurată de metalul topit. Cobaltul este într-o cantitate care să permită desprinderea particulelor tocite şi să fie expuse alte particule cu muchii tăioase.

Produsele din materiale abrazive (pietrele de polizor etc.) pot fi considerate exemple de materiale compozite la care s-a obținut o creştere a rezistenței la uzare.

Matricea poate fi formată din:

-sticlă;

-polimeri etc.

Un alt exemplu este materialul compozit format dintr-o rețea dură de wolfram în interstițiile căreia se găseşte o matrice moale de argint. Rețeaua de wolfram este realizată prin sinterizare, iar umplerea golurilor cu argint lichid - prin infiltrare în vacuum. Acest material compozit este utilizat pentru întrerupătoare electrice.

De asemenea, îmbunătățirea durității şi a rezistenței la uzare la temperaturi ridicate a fost obținută prin introducerea negrului de fum în cauciucul pneurilor. Particulele de negru de fum au o formă sferoidală cu diametrul de 50 - 5000 Å şi sunt adăugate împreună cu multe alte materiale pentru a satisface cerințele de calitate ale diferitelor produse de cauciuc.

XII.3. Materialele compozite cu fibre

Aceste materiale sunt formate dintr-o matrice ductilă şi fibre rigide, astfel că, la un bun transfer al forței de la matrice la fibre, posedă o rezistență mecanică apropiată fibrelor fără a avea fragilitatea acestora.

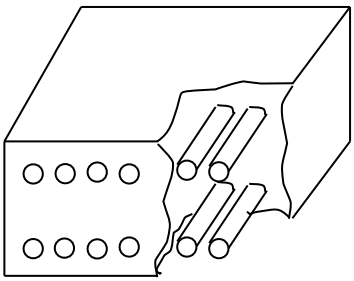
Fibrele pot avea orientări diferite, ca de exemplu:

-paralele (Fig.225.a);

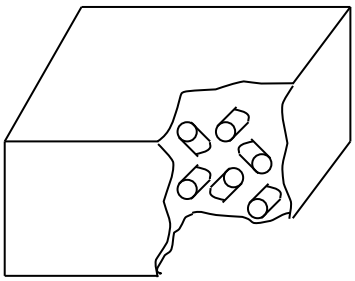
-întâmplătoare (Fig.225.b);

-țesute (Fig.225.c);

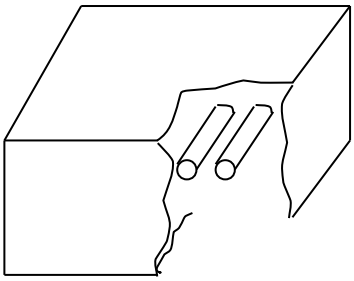
-ortogonale (Fig.225.d).

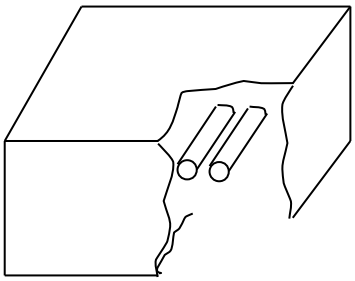


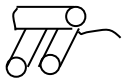
a



b







c d

Fig. 225
Modalităţi de aranjare a fibrelor în materialul compozit:
a- paralele; b- întâmplătoare; c- ţesute; d- ortogonale.

Matricea asigură:
-ductilitatea necesară;
-transmite forţa exterioară fibrelor.

Fibrele preiau cea mai mare parte a forţei exterioare, astfel încât în calculele de rezistenţă se ia în considerare numai modulul de elasticitate al fibrei.

Fibrele continui unidirecţionale conferă o rezistenţă optimă materialului compozit atunci când forţa este aplicată pe direcţia fibrei, dar mult mai mică pe alte direcţii (comportare anizotropică). Fibrele scurte orientate întâmplător conferă materialului compozit o rezistenţă uniformă pe toate direcţiile.

Rezistenţa la rupere a unor fibre utilizate la realizarea materialelor compozite este dată în tabelul 42.

Tabelul 42

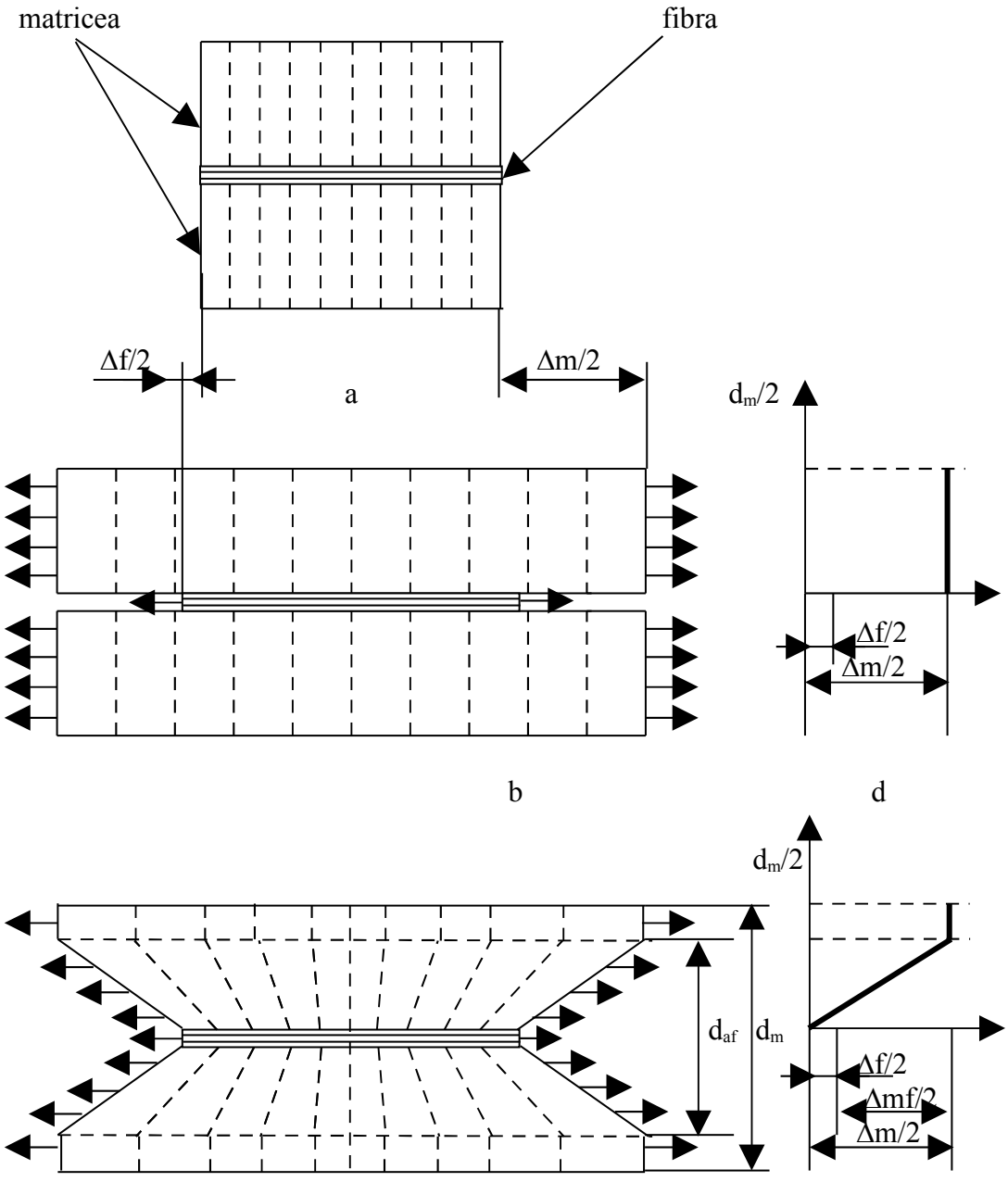
Natura fibrelor		Rm daN / mm^2
Fibre nemetalice	Azbest	590
	Sticla	370
	Cuarţ topit	460
	Grafit	310
	Poliamidă >PA66<	100
Fibre metalice	Oţel nealiat (0,9 % C)	410
	Oţel inoxidabil (18 % Cr; 8 % Ni)	210
	Wolfram	380
	Titan	220
Monocristale (whiskers)	Alumină	2100
	Carbură de siliciu	2070
	Grafit	1970
	Fier	1280

Mecanismul transferului de sarcină de la matrice la fibră este reprezentat schematic în figura 226. Dacă nu există legătură la interfaţa fibră-matrice, atunci în timpul aplicării unei forţe exterioare de întindere asupra matrialului compozit, fibra şi matricea se deformează independent cu Δf, respectiv cu Δm. Dacă există o bună legătură la interfaţa fibră-matrice, atunci deformarea matricei este micşorată de prezenţa

fibrei. Cu cât punctul considerat al matricei este mai depărtat de fibră, cu atât deformarea matricei este mai mare, iar influența fibrei devine nulă când distanța dintre punctul considerat (d) este mai mare decât jumătate din diametrul de acțiune a fibrei:

$$d > d_{af} / 2 \qquad (114)$$

Diferența de alungire dintre fibră şi matrice duce la apariția unor tensiuni de întindere în fibre şi de forfecare în matrice.

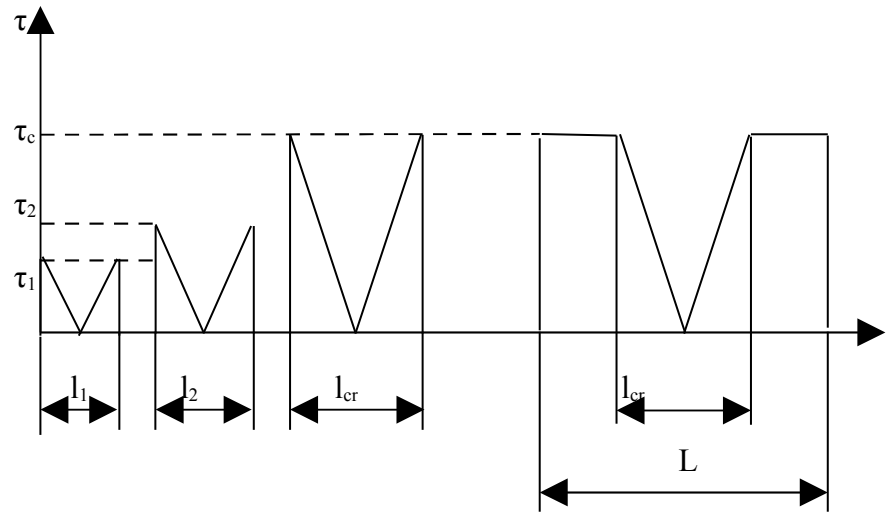


c e

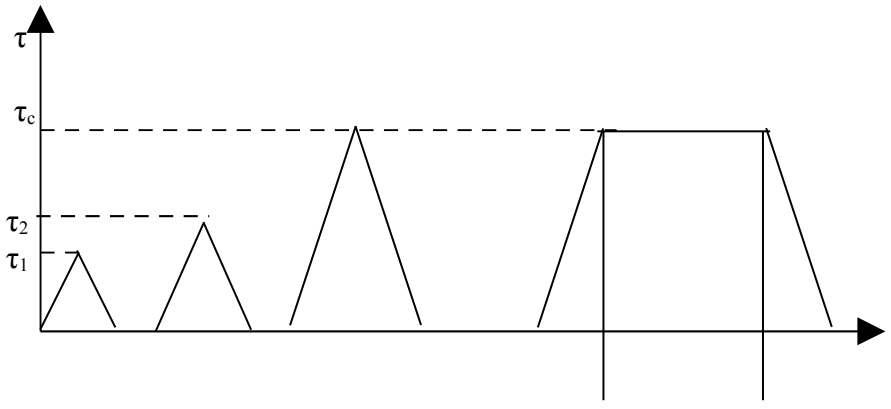
Fig.226

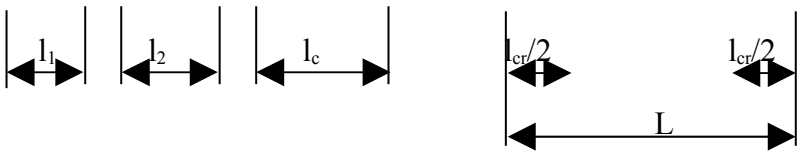
Mecanismul transferului de sarcină de la matrice la fibră:
a-materialul compozit înainte de aplicarea sarcinii; b-materialul compozit după aplicarea sarcinii la care matricea nu este solidară cu fibra; c- materialul compozit după aplicarea sarcinii la care matricea este solidară cu fibra; d-variația alungirii matricei în funcție de distanța de fibră dacă matricea nu este solidară cu fibra;
e- variația alungirii matricei în funcție de distanța de fibră dacă matricea este solidară cu fibra d_{af} - diametrul de acțiune a fibrei; d_m-diametrul cilindrului care conține punctul considerat al matricei; Δm-alungirea matricei; Δf-alungirea fibrei; Δmf-alungirea relativă dintre matrice şi fibră.

Variația tensiunilor cu lungimea fibrei este prezentată în figura 227. Astfel, tensiunea tangențială în matrice creşte (τ_1, τ_2, …) proporțional cu creşterea lungimea fibrei (l_1, l_2, …) până ce atinge limita elastică sau de curgere, după care matricea începe să se deformeze plastic. Lungimea fibrei care corespunde tensiunii tangențiale de curgere a matricei este denumită lungimea critică a fibrei (l_{cr}). Rezultă că dacă lungimea fibrei devine mai mare decât lungimea critică, atunci matricea se deformează plastic în porțiunile cuprinse chiar în diametrul de acțiune al fibrei, între capetele fibrei la o distanță $l_{cr}/2$ de fiecare capăt.



a





b

Fig. 227
Variația tensiunilor cu lungimea fibrei:
a-variația tensiunilor de forfecare în matrice cu lungimea fibrei;
b- variația tensiunilor de întindereîn în fibră cu lungimea fibrei.

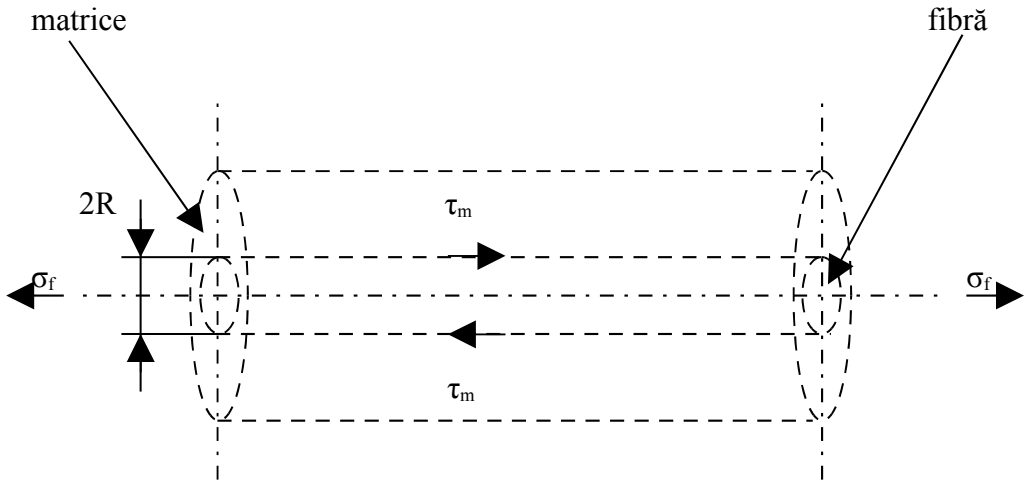


Fig.228
Element al fibrei

Dacă se consideră o fibră cu lungimea L şi diametrul 2R (Fig.128), atunci se poate calcula lungimea critică a fibrei (l_{cr}) ponindu-se de la relația:

$$\pi R^2 \sigma_f = 2\pi RL \tau_m \qquad (115)$$

în care: σ_f este efortul unitar de întindere al matricei;
τ_m - efortul unitar de forfecare al matricei.

Considerându-se relația :

$$L = l_{cr} \qquad (116)$$

din relația 41 rezultă:

$$l_{cr} = \frac{R}{2} \cdot \frac{\sigma_f}{\tau_m} \qquad (117)$$

Relația 117 exprimă faptul că lungimea critică pentru a se realiza un bun transfer al sarcinii de la matrice la fibră este mai mică dacă diametrul fibrei este mai mic. În acest sens cristalele whiskers sunt deosebit de eficiente deoarece au diametrul foarte mic.

Unele dintre utilizările materialelor compozite cu fibre sunt date în tabelul 43.

Tabelul 43

Materialele compozite	Utilizările
Polietilenă cu fibre de sticlă	Palete de transport și manipulare
Poliacetali cu fibre de sticlă	Carcase aparatelor menajere
Poliamide cu fibre de sticlă	Recipienți cu grosime mare a peretelui, carcasele aparatelor electromenajere
Policarbonați cu fibre de sticlă	Carcase de relee
Poliesteri nesaturați cu fibre de sticlă	Piese de caroserii
Poliesteri nesaturați cu fibre de kevlar (poliamidă modificată cu rezilienţă excelentă)	Ambarcațiuni nautice, blindaje
Răşini poliepoxidice cu fibre de sticlă, de bor sau de grafit	Elice de elicopter, ambarcațiuni nautice, rachete de tenis, rezervoare, modele de turnătorie, matrițe de ambutisare
Cauciuc cu fibre de poliamide, de kevlar sau de oțel	Pneuri
Aluminiu cu fibre de bor	Elice de ventilatoare

XII.4. Materialele compozite laminare

Materialele compozite laminare cuprind următoarele grupe principale:
-acoperiri cu folii;
-acoperiri dure;
-placări;
-bimetale;
-laminate.

Acoperirile cu folii constă dintr-o căptuşeală de una sau mai multe folii aplicate pe suprafaţa metalică de protejat contra coroziunii. De cele mai multe ori foliile sunt din mase plastice sau cauciuc.

Acoperirile dure sunt depuneri de diferite materiale dure, rezistente, în principal, la uzură, dar pot fi rezistente şi la coroziune. Materialele utilizate în acest scop sunt oţeluri dure, aliaje pe bază de cobalt, carburi de wolfram etc.

Placările sunt materiale compozite formate din două sau mai multe straturi de metale, din care unul este materialul placat (ieftin şi mai puţin rezistent la coroziune), iar celălalt este rezistent la coroziune şi are un aspect plăcut. În mod frecvent, placarea are loc pe ambele părţi pentru obţinerea unei mai bune rezistenţe la coroziune.

Bimetalele sunt materiale compozite formate din două materiale metalice cu o diferenţă relativ mare a coeficienţilor de dilatare, astfel că, la creşterea temperaturii, lamela care are coeficientul de dilatare mai mare se alungeşte mai mult şi provoacă o curbare a ansamblului celor două lamele (Fig.229).

a b

Fig.229
Curbarea bimetalelor datorită coeficienților de dilatare diferiți
a-înainte de încălzire; b- în timpul încălzirii

În tabelul 44 sunt date valorile coeficienților de dilatare pentru unele materiale metalice.

Tabelul 44

Materialul	Coeficientul de dilatare termică $\cdot 10^{-6}$cm / ^{o}C
Cu	17
Al	24
Ni	13
Oțel	12
CuZn30	16
Invar	1

Bimetalele sunt utilizate la termostate deoarece la o anumită temperatură se curbează suficient pentru a deschide sau a închide un circuit.

Laminatele sunt materiale compozite formate din straturi de materiale lipite cu adezivi.

Un exemplu clasic este sticla triplex, formată din două straturi de sticlă, între care se găseşte o folie de polivinil, care joacă rolul de adeziv. Acest material compozit nu produce cioburi atunci când se sparge.

Plăcuțele cu circuite imprimate sunt, de asemenea, materiale compozite formate din unul sau mai multe straturi izolante, cu rol de suport pentru conductoarele circuitelor electrice.

Alte materiale compozite formate din straturi de materiale lipite cu adezivi sunt următoarele semifabricatele din lemn:

-placajul;
-panelul;
-plăcile din fibre de lemn (PFL);
-plăcile din aşchii din lemn (PAL).

ANEXĂ

PROPRIETĂȚILE MECANICE ALE MATERIALELOR METALICE

A.1. Proprietățile mecanice ale oțelurilor

A.1.1.Oțeluri carbon de uz general (STAS 500 / 2-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OL30	Laminat	-	≥310	20	-
2	OL32	Laminat	170	310-390	33	-
3	OL34	Laminat	200	330-410	31	-
4	OL37	Laminat	220	360-440	25	59
5	OL42	Laminat	250	410-490	22	59
6	OL44	Laminat	270	430-540	25	59
7	OL50	Laminat	280	490-610	21	-
8	OL52	Laminat	340	510-630	22	59
9	OL60	Laminat	320	590-710	16	-
10	OL70	Laminat	350	≥690	11	-

A.1.2. Oțeluri cu granulație fină (STAS 9021-88; 11082-80; 11505-89; 715 / 2-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OCS285	Laminat	285	430-540	23	48
2	OCS355	Laminat	355	510-610	20	48

3	X42	Laminat	290	410	21	-
4	X46	Laminat	320	430	20	-
5	X52	Laminat	360	450	19	-
6	X56	Laminat	390	490	18	-
7	X60	Laminat	410	520	17	-
8	L410	Laminat	412	529-686	20	-
9	A	Laminat	207	331	25	-
10	B	Laminat	241	≥413	20	-

A.1.3. Oțeluri de uz general pentru construcții rezistente la coroziunea atmosferică (STAS 500 / 3-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	RCA31	Laminat	240	370-440	24	7
2	RCB52	Laminat	350	510-630	20	20

A.1.4. Oțeluri pentru armarea betonului (STAS 438 / 1-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OB37	Laminat	255	360	25	-
2	PC52	Laminat	360	510	20	-
3	PC60	Laminat	430	590	18	-
4	STNB	Laminat	460	510-610	6-8	-

A.1.5. Oțeluri pentru precompimarea betonului (STAS 6482 / 2-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	SPB I	Tras la rece	1500	1570-2300	2	-
2	SPB II	Tras la rece	1500	1570-2300	2	-

A.1.6. Oțeluri pentru construcții navale (STAS 8324-86)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2

1	A	Laminat	-	-	-	-
2	D	Laminat	235	400-490	22	27
3	E	Laminat	-	-	-	-
4	A32	Laminat	-	-	-	-
5	D32	Laminat	315	470-590	21	31
6	E32	Laminat	-	-	-	-
7	A36	Laminat	-	-	-	-
8	D36	Laminat	355	490-620	21	34
9	E36	Laminat	-	-	-	-
10	A40	Laminat	-	-	-	-
11	D40	Laminat	390	530-650	20	39
12	E40	Laminat	-	-	-	-

A.1.7. Oţeluri pentru ţevi fără sudură de uz general (STAS 8183-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLT35	Laminat	230	340	26	-
2	OLT45	Laminat	250	440	21	-
3	OLT65	Normalizat	370	640	16	-

A.1.8. Oţeluri pentru ţevi fără sudură destinate industriei petroliere (STAS 8185-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	15VMn11	Normalizat	350	450	16	-
2	20VMn12	Normalizat	410	610	14	-
3	31VMn12	Normalizat	610	780	12	-
4	35Mn14	Îmbunătăţit	530	720	16	80
5	43MoMn16	Normalizat	550	700	15	80
6	33MoCr11	Îmbunătăţit	690	880	12	80
7	41 MoCr11	Îmbunătăţit	740	930	11	80
8	40VMoMnCr7	Normalizat	690	780	12	60
9	34MoCrNi15	Îmbunătăţit	880	1080	11	80
10	35VMoMn14	Îmbunătăţit	860	930	11	-

A.1.9. Oţeluri pentru ţevi utilizate la temperaturi ridicate (STAS 8184-87; 11523-87)

Nr.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice

crt.			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLT35K	Normalizat	235	350-450	26	60
2	OLT45K	Normalizat	255	450-550	21	60
3	16Mo3	Normalizat	270	430-520	19	60
4	14MnCr10	Normalizat	290	430-550	18	60
5	12MnCr22	Normalizat	280	470-640	20	60
6	12MnCr50	Normalizat	175	420-550	21	60
		Îmbunătățit	275	520-640	20	-
7	12MnCr90	Normalizat	205	410-540	21	60
		Îmbunătățit	395	590-740	20	-
8	12VMnCr10	Normalizat	255	470-640	21	98
9	20VNiMnCr120	Normalizat	490	690-830	16	60

A.1.10. Oțeluri pentru țevi utilizate la temperaturi scăzute (STAS 10382-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLT35R	Normalizat	225	340-440	26	-
2	OLT45R	Normalizat	255	440-540	21	-
3	10Ni35	Normalizat	345	440-610	20	80

A.1.11. Oțeluri pentru cazane şi recipienți sub presiune pentru temperaturi ambiante şi ridicate (STAS 2883 / 3-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	K410	Normalizat	225	400-490	22	69
2	K460	Normalizat	285	460-550	20	59
3	K510	Normalizat	325	510-610	19	59
4	16Mo3	Normalizat	270	430-520	19	60
5	14MoCr10	Normalizat	290	430-550	18	60
6	16Mo5	Normalizat	320	430-550	18	60
7	12MoCr22	Normalizat	280	470-640	20	60
8	12MnCr50	Normalizat	175	420-550	21	60
		Îmbunătățit	275	520-640	20	-
9	12VMnCr10	Normalizat	255	470-640	21	98

A.1.12. Oțeluri pentru cazane şi recipienți sub presiune pentru temperaturi ridicate şi scăzute (STAS 2883 / 2-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2

1	R37	Normalizat	235	360-440	24	-
2	R44	Normalizat	285	430-540	23	-
3	R52	Normalizat	350	510-610	20	-

A.1.13. Oţeluri pentru table groase pentru recipienţi sub presiune pentru temperaturi ridicate şi scăzute (STAS 11502-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	9 SiMn16	Normalizat	325	≥440	19	59
2	RV510	Normalizat	350	510-610	20	63
3	16SiMn10	Normalizat	310	≥450	19	59
4	10Ni35	Normalizat	345	440-610	20	80

A.1.14. Oţeluri pentru table şi benzi ambutisate (STAS 9485-80; 11501-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	A1	Laminat	-	270-410	26	-
2	A2	Laminat	260	270-390	30	-
3	A3	Laminat	240	270-370	34	-
4	A21	Laminat	210	340-440	25	88

A.1.15. Oţeluri pentru table şi benzi caroserii auto (STAS 10318-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	A4	Laminat	-	270-410	30	-
2	A5	Laminat	220	270-370	36	-

A.1.16. Oţeluri pentru table mijlocii şi groase decapate (STAS 11509-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	A30K	Laminat	196	274	28	-

A.1.17. Oţeluri pentru table subţiri şi benzi late (STAS 9724-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	B1	Normalizat	-	250-490	-	-
2	B2	Normalizat	170	270-430	23	-

A.1.18. Oţeluri îmbunătăţite cu limită de curgere ridicată (STAS 523-85)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	C420	Îmbunătăţit	420	530-680	19	-
2	C440	Îmbunătăţit	440	560-730	17	-
3	C500	Îmbunătăţit	500	620-770	17	-
4	C620	Îmbunătăţit	620	740-890	16	-
5	C690A	Îmbunătăţit	690	760-895	16	-
6	C690B	Îmbunătăţit	690	795-930	16	-

A.1.19. Oţeluri pentru şine de cale ferată (STAS 1900-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OS70	Laminat	-	680-830	14	-
2	OS90A	Laminat	-	880-1030	10	-
3	OS90B	Laminat	-	880-1030	10	-

A.1.20. Oţeluri pentru osii (STAS 1947-90)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OCO1	Normalizat	320	550-650	22	50
		Îmbunătăţit	350	550-700	25	80

A.1.21. Oţeluri carbon de calitate (STAS 880-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC8	Normalizat	196	324	33	-
2	OLC10	Normalizat	206	321	31	-
3	OLC15	Normalizat	225	373	27	-
4	OLC20	Normalizat	250	410	25	-
		Îmbunătăţit	350	550-700	20	76
5	OLC25	Normalizat	270	450	24	-
		Îmbunătăţit	370	550	700	19
6	OLC30	Normalizat	290	490	21	-
		Îmbunătăţit	400	600-750	18	50

7	OLC35	Normalizat	310	530	21	-
		Îmbunătățit	430	630-780	17	40
8	OLC40	Normalizat	320	570	19	-
		Îmbunătățit	460	650-800	16	35
9	OLC45	Normalizat	360	610	18	-
		Îmbunătățit	500	700-850	14	30
10	OLC50	Normalizat	370	640	16	-
		Îmbunătățit	520	750-900	13	-
11	OLC55	Normalizat	390	670	14	-
		Îmbunătățit	550	900-950	12	-

A.1.22. Oțeluri pentru table groase pentru viaducte şi poduri de şosea (STAS 12187-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OL37EP	Normalizat	230	360-440	24	69
2	OL52EP	Normalizat	340	510	630	20

A.1.23. Oțeluri pentru prelucrarea pe maşini-unelte automate (STAS 1350-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	AUT9	Laminat	210	360-510	23	-
		Tras la rece	400	460-800	7	-
2	AUT12	Laminat	220	410-560	22	40
		Tras la rece	440	510-820	7	-
3	AUT20	Laminat	-	510-820	15	-
		Tras la rece	460	520-840	2	-

A.1.24. Oțeluri pentru roți dințate (STAS 11512-91)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	18MoNiCr17		780	1080-1430	8	100
2	19CrNi10		930	1180-1520	7	70

A.1.25. Oțeluri pentru rulmenți (STAS 11250-89)

Nr.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice

crt.			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	RUL1	Recopt	-	600-750	-	-
		Călit şi revenire joasă	-	2700-3300	-	30
2	RUL2	Recopt	-	600-780	-	-
		Călit şi revenire joasă	-	2700-3300	-	35
3	RUL3V	Recopt	-	600-780	-	-
		Călit şi revenire joasă	-	2700-3300	-	35

A.1.26. Oţeluri aliate pentru tratamente termice (STAS 791-88; 11513-88; 7450-89; 11506-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/ m^2	A %	KCU J/cm^2
1	15Cr9	Călit şi revenire joasă	495	685	12	69
2	40Cr10	Îmbunătăţit	780	980	10	53
3	40BCr10	Îmbunătăţit	735	930	12	88
4	17MnCr10	Călit şi revenire joasă	735	930	12	88
5	18 MnCr11	Călit şi revenire joasă	735	880	10	-
6	19MoCr11	Călit şi revenire joasă	750	1050-1400	8	50
7	17CrNi16	Călit şi revenire joasă	685	960-1270	8	-
8	18CrNi20	Călit şi revenire joasă	780	1175-1420	7	-
9	20MoNi35	Călit şi revenire joasă	830	980	9	88
10	20MnCrSi11	Îmbunătăţit	635	780	12	68
11	MoCrNi14	Călit şi revenire joasă	850	1200-1550	8	50
12	26MoCr11	Îmbunătăţit	700	900-1100	12	-
13	20MnCr12	Călit şi revenire joasă	735	1080-1370	7	-
14	20TiMnCr12	Călit şi revenire joasă	735	980	9	78
15	21MoMnCr12	Călit şi revenire joasă	880	1080	8	68
16	25MnSi14	Îmbunătăţit	830	1080	10	58
17	28TiMnCr12	Călit şi revenire joasă	830	1470	9	58
18	25 MnCrSi11	Îmbunătăţit	1275	1080	10	58
19	31MnCrSi11	Îmbunătăţit	830	1080	10	44
20	34MoCr11	Îmbunătăţit	830	1000-1200	11	-
21	34MoCrNi16	Îmbunătăţit	800	1200-1400	9	-
22	30MoCrNi20	Îmbunătăţit	1000	1250-1450	9	-
23	35MnSi13	Îmbunătăţit	1050	880	15	68
24	36MnCrSi13	Călit şi revenire joasă	680	1620	9	39
25	39MoAlCr15	Îmbunătăţit	1275	980	14	88
26	20Mn10	Îmbunătăţit	830	740-880	12	40

27	40CrNi12	Îmbunătățit	510	980	11	68
28	42MoCr11	Îmbunătățit	780	1100-1300	10	-
29	35Mn16	Normalizat	-	620	13	-
		Îmbunătățit	-	740-930	12	39
30	40Mn10	Îmbunătățit	640	880-1070	12	40
31	51VMnCr11	Îmbunătățit	900	1100-1300	9	-
32	65Mn10	Recopt	800	1000	8	-

A.1.27. Oțeluri pentru autoturisme (STAS 11500 / 2-89)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC38	Călit	-	-	-	-
		Îmbunătățit	660	805-980	10	80
2	OLC38B	Călit	-	-	-	-
		Îmbunătățit	785	880-1130	11	70
3	OLC43	Călit	-	-	-	-
		Îmbunătățit	690	880	1050	9
4	37Cr5	Îmbunătățit	780	880-1130	11	70
5	32Cr10	Călit şi revenire joasă	1320	1620-1860	5	30
6	37Cr10	Îmbunătățit	730	880-1080	11	130
7	60CrMnSi17A	Călit şi revenire medie	1470	1670-1910	5	25
8	13MoCr11	Călit	780	1040-1220	7	100
9	17MoCr11	Călit	920	1245-1470	6,5	80
10	19MoCr11	Călit	1019	1342-1568	6	70
11	28MoCr11	Călit	1225	1520-1715	7	50
12	31MoCr11	Călit	1320	1620-1860	6	40
13	33MoCr11	Călit	1470	1710-1960	5,5	40
14	34MoCrNi40	Îmbunătățit	930	1080-1370	9	60

A.1.28. Oțeluri pentru sape de foraj şi transmisii hidromecanice (STAS 11504-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2

1	17MoNi35	Călit şi revenire joasă	780	981	10	100
2	20MoCrNi06	Călit şi revenire joasă	690	880	11	100
3	22MoCrNi05	Călit şi revenire joasă	800	1210	15	-

A.1.29. Oţeluri pentru arcuri (STAS 795-87; 11514-80; 3583-87; 8371-86)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC55A	Normalizat	880	1080	6	-
2	OLC65A	Normalizat	780	980	10	-
3	OLC70A	Normalizat	790	1080	9	-
4	OLC75A	Normalizat	880	1080	9	-
5	OLC85A	Normalizat	980	130	8	-
6	OLC90A	Normalizat	980	1130	7	-
7	OLC66S	Normalizat	780	980	10	-
8	40Si17A	Normalizat	980	1180	6	-
9	51Si17A	Normalizat	1080	1180	3	-
10	55Si17A	Normalizat	1080	1270	6	-
11	60Si15A	Normalizat	1270	1470	6	-
12	51VCr11A	Normalizat	1180	1320	6	-
13	60CrMnSi12A	Normalizat	1210	1370	7	-
14	65Si12A	Normalizat	1668	1864	5	-
15	40Cr130	Recopt	-	800	-	-
16	35MoCr165	Recopt	-	950	-	-
		Îmbunătăţit	600	800-950	14	45
17	20MoCr165	Recopt	-	800	-	-
		Îmbunătăţit	55	750-900	14	45
18	10TiNiCr180	Normalizat	-	390-590	30	-
19	10TiMoNiCr175	Normalizat	200	540	40	-

A.1.30. Oţeluri pentru organe de asamblare la temperaturi înalte sau joase (STAS 7450-89; 9382-82; 880-88; 11290-88; 11523-87, 10382-88)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	OLC25AS	Îmbunătăţit	300	490	20	98

2	OLC35AS	Îmbunătățit	350	580	19	68,5
3	OLC45AS	Îmbunătățit	410	660	16	58
4	26MoCr11A	Îmbunătățit	700	990-1100	12	-
5	21VMoCr12AS	Îmbunătățit	590	740	16	98
6	24VMoCr12AS	Îmbunătățit	590	740	16	98
7	34MoCr11AS	Îmbunătățit	800	1000-1200	11	-
8	42MoCr11AS	Îmbunătățit	900	1100-1300	10	-
9	20MoCr130AS	Îmbunătățit	550	750-900	14	40
10	10Ni35AS	Normalizat	345	440-610	20	80
11	13CrNi35AS	Îmbunătățit	540	740	14	118
12	20MnB5AS	Îmbunătățit	490	640	15	88,5

A.1.31. Oțeluri termorezistente pentru organe de asamblare (STAS 11522-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	12MoCr90	Normalizat	343	588-735	20	-
2	24VMoCr12	Normalizat	539	686-833	17	108

A.1.32. Oțeluri inoxidabile (STAS 3583-87)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N / mm^2	R_m N / mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	7AlCr130	Recopt	250	400-600	80	-
		Îmbunătățit	400	550-700	18	-
2	8Cr170	Recopt	270	450-600	20	-
3	8TiCr170	Recopt	270	450-600	20	-
4	2TiMoCr170	Recopt	275	412	20	-
5	1 MoCr260	Recopt	245	412	22	-
6	10Cr130	Recopt	250	450-650	20	170
		Îmbunătățit	420	600-800	18	100
7	20Cr130	Recopt	-	740	-	-
		Îmbunătățit	450	650-800	14	80
8	30Cr130	Recopt	-	780	-	-
		Îmbunătățit	600	800-1000	11	-
9	40Cr130	Recopt	-	800	-	-
		Îmbunătățit	-	500	-	-
10	20MoCr130	Recopt	-	800	-	-
		Îmbunătățit	550	750-900	14	40
11	45VMoCr145	Recopt	-	900	-	-
12	90VMoCr180	Recopt	-	900	-	-
13	90Cr180	Recopt	-	900	-	-

14	22NiCr170	Recopt	-	950	-	-
		Îmbunătățit	550	750-950	14	50
15	2NiCr185	Călit	180	460-480	45	85
16	5NiCr180	Călit	195	500-700	45	85
17	10TiNiCr180	Călit	200	500-700	40	85
18	10TiMoNiCr175	Călit	210	500-700	35	85
19	12NNiMnCr180	Călit	300	640-830	40	-
20	2MoNiCr175	Călit	190	490-690	45	85
21	2NbNiCr250	Călit	215	480-680	40	-
22	20CuMoCrNi250	Călit	220	540-740	40	-

A.1.33. Oțeluri pentru supape de motoare (STAS 11311-88; 11524-80)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	40SiCr90	Îmbunătățit	700	900-1100	14	-
2	80SiNiCr200	Îmbunătățit	690	800-1120	6	-
3	80SiNiMoWCr150	Îmbunătățit	690	800-1120	14	-

A.1.34. Oțeluri refractare (STAS 11523-87)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J / cm^2
1	10AlCr70	Recopt	220	420-620	20	-
2	10AlCr180	Recopt	270	500-700	20	12
3	10AlCr240	Recopt	280	520-720	10	-
4	12TiAlCr180	Recopt	210	500-700	40	-
5	12NiCr250	Călit	210	500-700	35	-
6	15SiNiCr200	Călit	230	500-750	30	-
7	15SiNiCr250	Călit	230	500-700	30	-
8	10TiAlCrNi320	Călit	210	500-750	30	-
9	12SiNiCr360	Călit	230	550	800	30
10	40SiNiCr250	Călit	-	440	460	-
11	20VNiMoCr120	Îmbunătățit	490	690-830	16	-
12	20VNWiMoCr120	Îmbunătățit	590	780-930	14	-

A.1.35. Oțeluri carbon turnate în piese (STAS 600-82)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OT400	Recopt	200	390	20	50
2	OT450	Recopt	240	440	18	40
3	OT500	Recopt	490	15	35	138
4	OT600	Recopt	340	590	10	25
5	OT700	Recopt	410	690	6	-

A.1.36. Oţeluri aliate turnate în piese (STAS 1773-82)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T14VMoCrNi16	Normalizat şi revenit	640	780-980	10	29
		Îmbunătăţit	780	830-1030	8	29
2	T20Mn14	Normalizat şi revenit	295	540-780	18	49
		Îmbunătăţit	440	640-880	14	49
3	T26VSiMn14	Normalizat şi revenit	390	590-830	12	35
		Îmbunătăţit	490	690	-830	11
4	T30MoCrNi14	Normalizat şi revenit	540	690-880	12	29
		Îmbunătăţit	640	780-980	10	39
5	T30SiMn12	Normalizat şi revenit	345	590-830	14	29
		Îmbunătăţit	390	640-880	14	49
6	T34MoCr09	Normalizat şi revenit	390	590-830	12	35
		Îmbunătăţit	490	640-880	12	35
7	T35Mn14	Normalizat şi revenit	295	540-780	12	29
		Îmbunătăţit	345	590-830	14	49
8	T35MoCrNi08	Normalizat şi revenit	440	640-880	15	29
		Îmbunătăţit	540	740-930	15	49
9	T35SiCrMn11	Normalizat şi revenit	345	590-830	14	29

		Îmbunătățit	590	780-980	10	39
10	T40TiCrNi17	Normalizat şi revenit	540	690-880	17	29
		Îmbunătățit	640	780-980	10	39

A.1.37. Oțeluri aliate turnate pentru armături (STAS 9277-84)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	OTA20	Norm-alizat	245	440	22	56
2	OTA30Mn13	Norma-lizat	410	620	16	50
3	OTA40Mn13	Norma-lizat	410	620	16	45
4	OTA17MoCr13	Norma-lizat	315	490	20	56
5	OTA23VMoCr120	Norma-lizat	590	690	15	35
6	OTA23VWMoCr120	Norma-lizat	590	690	15	35
7	OTA10NbMoNiCr170	Norma-lizat	225	620	20	70
8	OTA10TiMoNiCr170	Norma-lizat	225	620	20	70
9	OTA15Ni35	Norma-lizat	345	440-610	20	80

A.1.38. Oțeluri aliate turnate rezistente la temperaturi ridicate (STAS 12404-85)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T21	Normalizat şi revenit	250	450	22	49
2	T16Mo5	Normalizat şi revenit	250	450	22	39
3	T16MoCr11	Normalizat şi revenit	290	500	20	39

4	T14MoVCr6	Normalizat şi revenit	250	450	16	40
5	T21VMoCr10	Normalizat şi revenit	310	500	16	29
6	T17VMoCr14	Normalizat şi revenit	340	500	15	29
7	T17VMoCr12	Normalizat şi revenit	440	600	15	30
8	T15MoWVCr12	Normalizat şi revenit	370	540	16	39

A.1.39. Oţeluri aliate turnate refractare şi anticorozive (STAS 6855-86)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăţi mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T20MoCr90	Recopt şi îmbunătăţit	410	540	14	-
2	T15Cr130	Recopt şi îmbunătăţit	390	550	15	-
3	T15Cr130	Recopt şi îmbunătăţit	440	640	10	-
4	T22Cr135	Normalizat şi revenit	440	680-880	12	40
5	T15NiCr135	Normalizat şi revenit	295	490-690	15	80
6	T8MoNiCr125	Normalizat şi revenit	560	750-900	15	55
7	T15TiMoNiCr175	Îmbunătăţit	185	490	20	-
8	T12NiCr210	Călit	350	560-760	22	60
9	T12TiNiCr210	Călit	350	560-760	12	20
10	T12MoNiCr210	Călit	350	560-760	22	60
11	T7NiCr180	Călit	180	440-640	25	80
12	T15NiCr180	Călit	180	440-640	20	50
13	T15TiNiCr180	Călit	180	440-640	20	50
14	T15MoNiCr180	Călit	220	440-640	30	80
15	T7MoNiCr180	Călit	180	440-640	30	45
16	T15TiNiCr180	Călit	200	440-640	20	-
17	T40SiCr180	Recopt	340	440	4	-
18	T40NiCr180	Recopt	340	440	2	-
19	T75Cr280	Recopt	290	390	-	-
20	T70MoCr280	Recopt	-	880	-	-
21	T35NiCr260	Călit	245	490	10	-
22	T25NiCr250	Călit	225	490	20	-
23	T20NiCr270	Călit	390	440	20	-
24	T35NiCr270	Călit	195	390	8	-

25	T15Cr170	Îmbunătățit	590	780	6	-
26	T15Cr280	Îmbunătățit	290	440	20	20
27	T6NiCr180	Îmbunătățit	190	440	25	-
28	T6MoNiCr180	Îmbunătățit	230	440	25	-
29	T10NiCr180	Îmbunătățit	230	490-590	20	-
30	T10MoNiCr180	Îmbunătățit	230	490-590	20	-
31	T15NiCr180	Îmbunătățit	240	490	20	-
32	T15MoNiCr180	Îmbunătățit	240	490	20	-
33	T60CuMoNiCr200	Îmbunătățit	190	540	30	-

A.1.40. Oțeluri aliate turnate rezistente la temperaturi scăzute (STAS 12403-85)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			$R_{p0.2}$ N/mm^2	R_m N/mm^2	A %	KCU J/cm^2
1	T15MoCrNi30R	Îmbunătățit	360	240	18	-
2	T9MoCrNi30R	Îmbunătățit	480	630	20	-
3	T15MnNi25R	Îmbunătățit	540	630	20	-
4	T15Ni35R	Îmbunătățit	240	470	18	-
5	T30Mn14R	Îmbunătățit	300	670	10	30

A.2. Proprietățile mecanice ale fontelor

A.2.1. Fonte cenuşii cu grafit lamelar turnate în piese (STAS 568-82)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fc100	100-160	-
2	Fc150	110-250	-
2	Fc200	160-270	-
3	Fc250	210-320	-
4	Fc300	250-320	-
5	Fc350	330-350	-
6	Fc400	350-400	-

A.2.2. Fonte cenuşii turnate în piese pentru maşini-unelte (STAS 8541-86)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	FcX200	200	-
2	FcX250	250	-

3	FcX300	300	-
4	FcX350	350	-

A.2.3. Fonte cu grafit vermicular turnate în piese (STAS 12443-86)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fgv300	300	3
2	Fgv350	350	1,5
3	Fgv400	400	1

A.2.4. Fonte maleabile turnate în piese (STAS 569-82)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fma350	240-360	3-6
2	Fma400	360-420	3-10
3	Fmn300	300	6
4	Fmn320	320	8
5	Fmn350	350	10
6	Fmn370	370	12
7	Fmp450	450	6
8	Fmp500	500	5
9	Fmp550	550	4
10	Fmp600	600	3
11	Fmp650	650	3
12	Fmp700	700	2

A.2.5. Fonte cu grafit nodular turnate în piese (STAS 6071-82)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	Fgn370-17	370	17
2	Fgn420-12	400	12
3	Fgn450-5	450	5
4	Fgn500-7	500	7
5	Fgn600-2	600	2
6	Fgn700-2	700	2
7	Fgn800-3	800	3

A.2.6. Fonte refractare turnate în piese (STAS 12443-86)

Nr.	Marca	Proprietăți mecanice

crt.		R_m N / mm^2	A %
1	FrCr0,4	180	-
2	FrCr0,7	180	-
3	FrCr1,5	150	-
4	FrCr2,5	150	-
5	FrCr16	350	-
6	FrCr30	300	-
7	FrSi5	150	-
8	FrgnSi5	300	-
9	FrAl22	90	-
10	FrgnAl22	250	-
11	FrAl130	200	-

A.2.7. Fonte austenitice turnate în piese (STAS 10066-75)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	FAlNiMn13.7	140	-
2	FAlNiCuCr15.6.2	170	2
3	FAlNiCuCr15.6.3	190	1
4	FAlNiCr20.2	170	2
5	FAlNiCr20.3	190	1
6	FAlNiCr30.3	190	1
7	FAlNiSiCr20.5.3	190	2
8	FAlNiSiCr20.5.5	170	-
9	FAlNi35	120	1
10	FagnNiMn13.7	390	15
11	FagnNiMn23.4	440	25
12	FagnNiCr20.2	370	7
13	FagnNiCr20.3	390	7
14	FagnNiCr30.1	370	13
15	FagnNiCr30.3	370	7
16	FagnNiCr35.3	370	7
17	FagnNiSiCr20.5.2	370	10
18	FagnNiSiCr30.5.5	390	1
19	FagnNi22	370	20
20	FagnNi35	370	20

A.2.8. Fonte rezistente la uzură abrazivă turnate în piese (STAS 11246-79)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice	
		R_m N / mm^2	A %
1	FaNiCr1	280-550	-
2	FaNiCr2	280-550	-

3	FaCrMo1	350-500	-
4	FaCrMo2	350-500	-
5	FaVCr	270-630	-
6	FaCr	270-630	-

A.3. Proprietățile mecanice ale aliajelor de aluminiu

A.3.1. Aliaje de aluminiu turnate în piese (STAS 201 / 2-82)

Nr. crt.	Marca	Starea	Proprietăți mecanice			
			R_m N/mm^2	$R_{p0.2}$ N/mm^2	A %	HB
1	ATNCu4	Îmbătrânit natural	230	210	3	90
		Îmbătrânit artificial	240	210	2	90
2	ATNCu4Si	Turnat	110	80	4	50
		Îmbătrânit natural	190	140	4	55
		Îmbătrânit artificial	240	190	2	75
3	ATNCu4Si4	Turnat	120	90	1	50
		Îmbătrânit natural	190	120	2	55
		Îmbătrânit artificial	210	120	2	75
4	ATNCu4MgTi	Îmbătrânit natural	250	200	3	85
		Îmbătrânit artificial	270	210	2	90
5	ATCCu4MgTi	Îmbătrânit natural	270	210	4	85
		Îmbătrânit artificial	290	230	2	95
6	ATNCu4Ni2Mg	Turnat	150	120	0,5	70
		Îmbătrânit artificial	220	150	0,5	75
7	ATCCu4Ni2Mg	Turnat	160	140	0,5	70
		Îmbătrânit natural	240	180	0,5	95
		Îmbătrânit artificial	260	180	0,5	95
8	ATNCuSi5	Turnat	140	80	1	60
		Îmbătrânit natural	190	110	1	70
		Îmbătrânit artificial	210	120	1	70
9	ATCCuSi5	Turnat	160	80	1	70
		Îmbătrânit artificial	220	120	1	85
10	ATNCu8	Turnat	120	70	1	50
11	ATCCu8	Turnat	130	80	2	55
12	ATNCu10	Turnat	130	100	1	60
13	ATCCu10	Turnat	140	180	1	70
14	ATNCu10Mg	Turnat	140	120	1	70
		Îmbătrânit natural	150	120	0,5	80

		Îmbătrânit artificial	170	150	0,5	100
15	ATCCu10Mg	Turnat	160	130	1	75
		Recopt	170	140	1	110
		Îmbătrânit artificial	270	230	0,5	125
16	ATNSi12Mg	Îmbătrânit artificial	210	160	1	80
17	ATCSi12Mg	Turnat	140	120	2	55
		Îmbătrânit artificial	240	180	1	90
18	ATPSi12Mg	Turnat	180	120	1	55
19	ATNSi4	Turnat	130	70	2	50
20	ATCSi4	Turnat	190	80	1	70
21	ATNSi4Mg	Turnat	130	70	1	50
		Îmbătrânit artificial	190	150	1	80

(Continuare)

22	ATCSi4Mg	Turnat	160	80	2	75
		Îmbătrânit artificial	240	120	1	85
23	ATNSi5Cu1	Turnat	150	90	1	65
		Îmbătrânit natural	200	160	0,5	80
		Îmbătrânit artificial	190	150	1	75
24	ATCSi5Cu1	Turnat	160	100	1	50
		Îmbătrânit natural	220	190	0,5	85
		Îmbătrânit artificial	200	160	1	80
25	ATNSi5Cu2	Îmbătrânit artificial	210	120	1	60
26	ATCSi5Cu2	Îmbătrânit artificial	240	150	1	60
27	ATNSi6Cu4	Turnat	150	90	1	60
		Îmbătrânit artificial	190	150	1	70
28	ATCSi6Cu4	Turnat	160	110	1	70
		Îmbătrânit artificial	270	170	1	80
29	ATPSi6Cu4	Turnat	160	90	1	50
27	ATNSi7Mg	Turnat	130	70	2	55
		Îmbătrânit artificial	200	170	1	75
28	ATCSi7Mg	Turnat	160	90	2	60
		Îmbătrânit artificial	220	180	1	80
29	ATPSi7Mg	Turnat	160	90	1	50
30	ATNSi7MgCu	Turnat	120	80	-	50
31	ATCSi7MgCu	Turnat	130	90	-	60
32	ATPSi7MgCu	Turnat	150	70	0,5	50
33	ATNSi7Cu2	Turnat	130	80	0,5	50
34	ATCSi7Cu2	Turnat	130	80	1	55
35	ATNSi8Cu3	Turnat	160	90	0,5	65
36	ATCSi8Cu3	Turnat	170	100	0,5	70
37	ATPSi8Cu3Fe	Turnat	210	140	0,5	75
38	ATNSi8Cu3Ni	Turnat	180	100	0,5	65
39	ATCSi8Cu3Ni	Turnat	200	160	-	70
40	ATPSi8Cu3Ni	Turnat	200	140	-	75
41	ATNSi9	Turnat	140	80	2	50

42	ATCSi9	Turnat	150	80	1	60
43	ATPSi9	Turnat	160	80	1	60
44	ATNSi9Cu3Mg	Îmbătrânit artificial	160	70	-	65
45	ATCSi9Cu3Mg	Îmbătrânit artificial	180	80	1	70
46	ATPSi9Cu3Mg	Turnat	180	80	1	-
47	ATNSi10Mg	Turnat	150	80	2	50
		Îmbătrânit artificial	200	160	1	75
48	ATCSi10Mg	Turnat	160	90	2	60
		Îmbătrânit artificial	220	150	1	80
49	ATPSi10Mg	Turnat	200	120	1	70
50	ATCSi10Cu3Mg	Turnat	150	120	1	110
		Îmbătrânit artificial	200	170	0,5	110

(continuare)

51	ATNSi10Cu4	Turnat	130	80	0,5	60
52	ATPSi10Cu4	Turnat	170	90	0,5	75
53	ATNSi12	Turnat	160	70	2	45
54	ATCSi12	Turnat	180	80	3	50
55	ATNSi12Fe	Turnat	200	120	1	60
56	ATNSi12MnFe	Turnat	220	130	1	60
57	ATNSi12MgFe	Turnat	220	140	1	60
58	ATNSi12CuMgNi	Turnat	170	120	1	60
		Îmbătrânit artificial	180	140	1	70
59	ATCSi12CuMgNi	Turnat	140	120	1	70
		Recopt	180	140	-	85
		Îmbătrânit artificial	200	160	-	100
60	ATPSi12CuMgNi	Turnat	180	160	-	100
61	ATNSi18CuMgNi	Turnat	120	80	-	80
		Îmbătrânit artificial	170	140	-	95
62	ATCSi18CuMgNi	Turnat	150	100	-	90
		Recopt	180	140	-	110
		Îmbătrânit artificial	200	160	-	110
63	ATPSi18CuMgNi	Turnat	200	160	-	100
64	ATNMg3Si	Turnat	130	70	3	45
		Îmbătrânit artificial	180	100	2	60
65	ATCMg3Si	Turnat	140	70	4	50
		Îmbătrânit artificial	210	110	3	65
66	ATNMg6	Turnat	150	50	2	50
		Îmbătrânit natural	170	110	3	70
67	ATCMg6	Turnat	150	100	2	55
		Îmbătrânit natural	170	120	1	60
68	ATPMg6Fe1	Turnat	170	90	1	60
69	ATPMg9Si	Turnat	180	120	1	70
70	ATNZn5Mg	Îmbătrânit artificial	180	120	3	60
71	ATCZn5Mg	Îmbătrânit artificial	180	120	3	65

72	ATNZn10Si7	Turnat	190	120	2	75
73	ATCZn10Si7	Turnat	240	160	1	85
74	ATPZn10Si7Fe	Turnat	170	100	1	60

A.4. Proprietățile mecanice ale aliajelor de cupru

A.4.1. Bronzuri (Cu-Sn) deformabile (STAS 93-80)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuSn6	410	60	70
2	CuSn8	460	52	75
3	CuSn4Pb4Zn4	430	56	70

A.4.2. Bronzuri (Cu-Sn) turnate în piese (STAS 197 / 2-83)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuSn10	220-230	10-6	65-75
2	CuSn12	220-230	7-5	80-90
3	CuSn14	220-230	2-1	75-80
4	CuSn10Zn2	220-260	10-7	65-75
5	CuSn12Ni	260-280	10-8	90-95
6	CuSn9Zn5	220-240	8-5	65-75
7	CuSn6Zn4Pb4	180-200	8-6	60-70
8	CuSn5Zn5Pb5	180-200	12-10	60-65
9	CuSn4Zn4Pb17	170-200	6-4	55-60
10	CuSn3Zn11Pb4	200-220	10-7	55-60

A.4.3. Bronzuri cu aluminiu (Cu-Al) pentru deformare (STAS 203-80)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuAl10Fe3	540	12	110

2	CuAl9Mn2	440	20	100

A.4.4. Bronzuri cu aluminiu (Cu-Al) turnate în piese (STAS 198 / 2-81)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuAl9T	340-390	15-16	80-90
2	CuAl9Fe3T	400-450	8-10	90-100
3	CuAl10Fe3T	440-450	10-12	90-100
4	CuAl9Fe5T	540-590	10-11	110-120
5	CuAl10MnT	440-490	12	90-100

A.4.5. Alame (Cu-Zn) pentru deformare (STAS 95-87)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuZn10	270	40	50
2	CuZn15	275	42	55
3	CuZn20	275	44	57
4	CuZn30	250	44	60
5	CuZn36	282	45	62
6	CuZn37	284	46	66
7	CuZn39Pb2	340	30	60

A.4.6. Alame (Cu-Zn) turnate în piese (STAS 199 / 2-86)

Nr. crt.	Marca	Proprietăți mecanice		
		R_m N / mm^2	A %	HB
1	CuZn40PbT	200	20	75
2	CuZn33Pb2T	150-160	10-8	40
3	CuZn32Pb2T	180-200	20	40
4	CuZn40PbSnT	280	7	80
5	CuZn40Mn2AlT	350	15	100
6	CuZn38Pb2Mn2T	250-350	10-8	70-80
7	CuZn35Mn2FeAlNiT	350-400	15-10	80-90
8	CuZn40Mn3FeT	450-500	15-10	100

BIBLIOGRAFIE

1. Ailincăi, Gh. (1978)- *Studiul metalelor*, I.P.Iaşi.
2. Alexandru, I., Popovici, R., Baciu, C., Bulancea, V., Cojocaru, V., Călin, M., Carcea, I., Alexandru, A., Paloşanu, G. (1997)-*Alegerea şi utilizarea materialelor metalice*, E.D.P., Bucureşti.
3. Apostolescu, R. (1982)-*Cristalografie,Mineralogie*, E.D.P. Bucureşti.
4. Baciu, C., Alexandru, I., Popovici, R., Baciu, M. (1996) -*Ştiinţa materialelor metalice*, E.D.P., Bucureşti.
5. Balteş, I. (2003)-*Materiale amorfe*Materiale compozite*, U. "Transilvania" Braşov.
6. Barralis, J., Maeder, G. (1983)-*Précis de métallurgie*, Nathan, Paris.
7. Barralis, J., Maeder, G. (1997)-*Précis de métallurgie*, Nathan, Paris.
8. Bednar, V., Bednar, H. (1978)-*Chimie fizică generală*, E.D.P., Bucureşti.
9. Carţiş, I.Gh. (1982)-*Tratamente termice*, Editura Facla, Timişoara.
10. Catana, V., Ciucescu, D., Popovici, R., Zichil, V., Paloşanu, G. (1991)- *Tehnologia materialelor (Îndrumar de laborator),* Universitatea din Bacău.
11. Chaussin, C., Hilly, G. (1983)-*Métallurgie (Tome 1),* Dunod, Paris.
12. Ciucescu, D., Popovici, R. (1988)- *Tratamente termice (Îndrumar de laborator)*, I.I.S.Bacău.
13. Ciucescu, D. (1994)- *Tratamente termice (Îndrumar de proiectare)*, Universitatea din Bacău.
14. Ciucescu, D. (1994)-*Tehnologia materialelor electrotehnice şi compozite (Note de curs)*, Universitatea din Bacău.
15. Ciucescu, D., Gheorghian, M. (2001) – *Studiul metalelor (Îndrumar de laborator)*, Universitatea din Bacău.
16. Ciucescu, D., Ciucescu, E. (2000)–*Tipuri de diagrame de echilibru termodinamic al fazelor aliajelor binare utilizate în studiul metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
17. Ciucescu, D., Ciucescu, E. (2000)–*Oţeluri microaliate cu limită de curgere ridicată (HSLA)*, E.D.P., Bucureşti.
18. Ciucescu, D. (2003) –*Elemente de metalurgie fizică/Elements of Physical Metallurgy*, Editura Plumb, Bacău.
19. Ciucescu, D., Ciucescu,M. (2003) –*Introducere în coroziunea materialelor metalice ăi nemetalice,* Editura Plumb, Bacău.

20. Ciucescu, D., Simionescu, Gh. (2004) –*Elemente de ştiinţa materialelor*, Editura Plumb, Bacău.
21. Dulămiță, T., Florian, E. (1982)-*Tratamente termice şi termochimice*, E.D.P., Bucureşti.
22. Gâdea, S. ş.a. (1978)-*Manualul inginerului metalurg*., *(vol.1)*, E.T., Bucureşti.
23. Gâdea, S., Petrescu, M. (1985)-*Metalurgie fizică şi studiul metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
24. Geru, N. (1981)-*Teoria structurală a proprietăților metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
25. Guy, A.C. (1959) -*Elements of Physical Metallurgy*, Addison-Wesley Publishing Company, Massachussets.
26. Hagymaş, Gh., Firoiu, C., Radovici, O. (1963) -*Coroziunea şi protecţia metalelor,* E.T., Bucureşti.

27. Ispas, Şt. (1987) -*Materiale compozite*, E.T., Bucureşti.
28. Jinescu, V.V. (1979)-*Proprietăţile fizice şi termomecanice ale materialelor plastice*, E.T., Bucureşti.
29. Lakhtin, I. (1978) -*Métalographie et traitements thermiques des metaux*, Editions Mir, Moscou.
30. Lunguleasa, A. (1995)-*Studiul lemnului*, Universitatea "Transilvania" Braşov.
31. Mihalache, M. (1986)-*Materiale plastice armate*, E.T., Bucureşti.
32. Mihalcu, M. (1985) -*Materiale plastice armate*, E.T. Bucureşti.
33. Mititelea, I., Budău, V. (1987)-*Studiul metalelor (Îndreptar tehnic)*, Editura Facla, Timişoara.
34. Moldovan, P. ş.a. (1979) -*Tehnologii metalurgice*, E.D.P., Bucureşti.
35. Nistor, D., Ripsyky, S., Israel, G. (1980) –*Materiale termorigide armate*, E.T., Bucureşti.
36. Popescu, N. (1974)-*Tehnologia şi practica tratamentelor termice*, E.T., Bucureşti.
37. Popescu, N., Gheorghe, C., Popescu, O. (1990)-*Tratamente termice neconvenţionale*, E.T.,Bucureşti.
38. V. Popescu (1988)-Pietriş –*Utilaje din materiale grafitice,* E.T., Bucureşti.
39. Popovici, R., Ciucescu, D., Simionescu, Gh. (1985)-*Tratamente termice (Note de curs)*, I.I.S.Bacău.
40. Ştefănescu, F., Neagu, G., Mihai, A. (1996) –*Materiale compozite*, E.D.P., Bucureşti.
41. Timaru, Fl., Dobrescu, E. (1966)-*Îndrumar practic pentru protecţia anticorozivă*, E.T., Bucureşti.
42. Trotignon, J. P., Verou, J., Piperau, M. (1986)-*Précis de matiéres plastiques,* Nathan, Paris.
43. Truşculescu, M. (1977)-*Studiul metalelor*, E.D.P., Bucureşti.
44. Vacu, S. ş.a. (1980)-*Elaborarea oţelurilor aliate,* vol.1, E.T.,Bucureşti.
45. Vârcolacu, I., Gheorghiu, Fl. (1977)-*Utilaje metalurgice,* E.D.P., Bucureşti.
46. G. Zgură, V. Moga –*Bazele proiectării materialelor compozite,* Editura Bren, Bucureşti, 1999;
47. Wanyorek, C. (1975)- *Tratamente termice (Curs şi laborator)*, Universitatea din Braşov.

Tiparul executat la tipografia
BARTER GRUP S.A.
Str. Calea Moineşti, nr.5
Bacău – România
Tel/fax: 0234 586703